

Введение

ОАО

"Электрометаллургический завод
"Онепроспец-сталь (Т>СС) крупнейшее и
единственное предприятие Украины по
производству специальных сталей и сплавов.

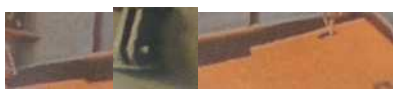
Являясь предприятием с неполным
металлургическим циклом (выплавка металла
производится в электродуговых печах с
использованием металлического лома, а не с
использованием л. чугуна и руды как
исходных продуктов), О?4Q "Т)непроспецсталь,
тем не менее, имеет сложную технологическую
схему производства продукции, которая
включает в себя различные виды выплавки
исходного металла, разливы в слитки и
расходуемые электроды, прокатки, ковки,
холодного волочения, отделки готовой
металлопродукции, способов контроля и
аттестации металла.

Целью курса "технологический процесс"
является ознакомление слушателей с
основами технологических процессов,
выполняемых на заводе, некоторыми
теоретическими предпосылками применяемых
процессов и их возмож-ностями.

Т>анный конспект лекций предназначен для
слушателей Бизнес БМколы О?4.О
"Онепроспецсталь" всех ступеней обучения. Он
состоит из двух частей. ^1ервая часть - это
технологический процесс О^LO
"Т>непроспецсталь". вторая часть конспекта
представляет собой краткий курс по
металловедению. % ней излагается общая, теория
сплавов, рассматриваются свойства и
структура углеродистых и легированных
сталей, а также теория и практика
термической обработки металлов.

СТАЛЕПЛАВИЛЪН О ПРОИЗВОДСТВО

*** If'-**



сталеплавильном цехе на основании утвержденного месячного сортамента составляется график производства по неделе м.

1.2 В

соответствии с графиком выплавки сталеплавильный цех подает заявку отделу сырья и топлива на шихту, ферросплавы, огнеупоры. Отдел сырья и топлива оперативно рассматривает потребность цехов в

материалах и через цех подготовки производства организует доставку материалов в сталеплавильные цеха.

1.3 Хранение материалов для сталеплавильных цехов осуществляется как на заводских складах (склады ферросплавов, огнеупоров, электродов, сыпучих материалов, изложниц и т.д.), так и в самих цехах. Шихта складывается в копровом цехе и на шихтовых участках сталеплавильных цехов.

Договоры на поставку заводу сырья и материалов подготавливает и заключает отдел сырья и топлива.

Входной контроль сырья и материалов в соответствии со стандартами и действующими внутризаводскими инструкциями осуществляет отдел технического контроля.

В случае обнаружения несоответствия полученных на завод сырья и материалов отдел технического контроля направляет поставщику претензию, а материал берется на ответственное хранение. После выяснения причин несоответствия материал либо направляется для использования в сталеплавильном производстве, либо возвращается поставщику.

Лом и легированные отходы от поставщиков и из передельных цехов завода поступают в скрапоразделочный цех.

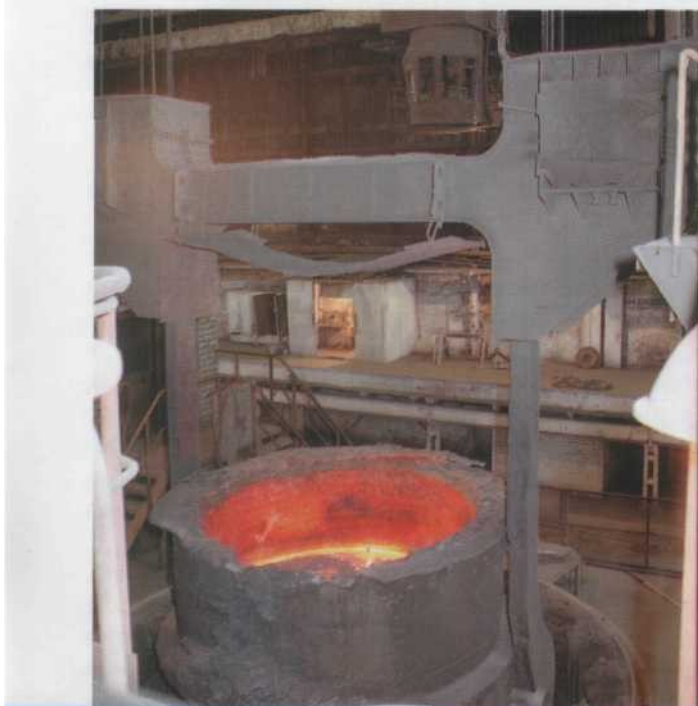
Для хранения легированных отходов в копровом цехе имеются более 80 закров. В каждом из закров хранится определенная группа отходов. Поступающий лом подвергается приемке, которую осуществляют начальник смены скрапоразделочного цеха и контролер отдела технического контроля.

На основании суточного графика выплавки сталеплавильные цехи направляют заявку в скрапоразделочный цех на поставку лома и легированных отходов. Скрапоразделочный цех отправляет лом и отходы в сталеплавильные цехи по железной дороге в вагонах, бадьях и специальных контейнерах. Использование отходов в сталеплавильном цехе при

отсутст
вии
сопро-
водите
льного
докуме
нта с
отметк
ой ОТК
скра-
поразд
елочно
го цеха
запрещ
ается.



Открытая печь



Посадка ковша в вакууматор

Электродуговые печи специализируются на выплавке опреде-



Вакууматор



Печь-ковш

1.4 В сталеплавильных цехах складирование отходов и лома производят в бункерах строго по группам отходов.

Ферросплавы, лигатура и другие легирующие материалы используются только с сертификатами на химсостав. Ферросплавы складываются в бункерах по видам и классам.

Перед началом плавки в плавильную карту записывается химический состав в соответствии с требованиями нормативно-технической документации (заказа).

Перед загрузкой в печь рассчитывается вес годного металла и содержание в нем всех элементов нормируемых составом стали. Содержание углерода в шихте должно обеспечить окисление его в окислительный период плавки не менее 0,30% (аба).

1.5 Выплавку стали производят в открытых дуговых печах емкостью 50т, 25т. Печи оборудованы трансформаторами мощностью 25 МВА, 20МВА, 9 МВД, кислородными фурмами.

ленного сортамента сталей.

При назначении марки стали на выплавку учитывается марка стали предыдущей выплавки. После капитального ремонта печи сначала выплавляются две промывные плавки, а затем производится выплавка металла какой-либо марки стали.

Выплавку стали производят в открытых дуговых печах способом переплава легированных отходов с продувкой кислородом и дуплекс-процессом: открытая дуговая печь-конвертер или печь —> печь-ковш —> вакууматор. Разливку стали в изложницы осуществляют сифоном. Слитки передаются на передел горячим всадом (с температурой поверхности не менее 700°C) или холодным всадом (с температурой окружающей среды). Перед прокаткой (прессованием) слитков холодного

всегда производится ремонт поверхности слитков.

При выплавке в открытых дуговых печах для обеспечения качества продукции установлены следующие, контролируемые параметры:

- химический состав по ходу плавки;
- температура жидкой стали перед началом

продувки рас

плава кислородом (1580-1600°C);

- давление кислорода 6-15 ат., расход кислорода 1000-2000 м³/час;

- температура жидкой стали в ковше.

Отбор проб жидкой стали производится разовыми пробоотборными устройствами или ложкой с последующей заливкой в стакан. Пробоотборные устройства складываются по модификациям. Для отбора проб с помощью разовых пробо-отборных устройств применяются янипулятор термопроб и ручной зонд.

Измерение температуры жидкой стали производится пирометрическими комплектами, состоящими из электронного потенциометра и термоэлектрического термометра (термопары).

1.6 После выпуска предыдущей плавки подина, откосы очищаются от остатков металла и шлака. Производится заправка печи. Состояние свода, экономайзеров и заслонки рабочего окна должны обеспечивать необходимую герметичность печи. Перед включением печи проверяется состояние системы водяного охлаждения, кислородной фурмы, системы отвода газов печи, установки электромагнитного перемешивания, контрольно-измерительной аппаратуры.

Выплавку стали осуществляют:

- с полным окислением;
- переплавом легированных отходов без

окисления или

сплавлением чистых материалов;

- переплавом легированных отходов с окислением кислородом.

При всех способах выплавки металл может подвергаться внепечной обработке (продувке аргоном).

Плавление проводят в соответствии с утвержденными электрическими режимами.

Окислительный период начинается при температурах, установленных в инструкциях. Продувку металла кислородом производят через многосопловую фурму. Расход кислорода нормируется инструкциями (1000-2000 м³/час). Количество окислившегося углерода в окислительный период не менее 0,30%.

При выплавке методом переплава легированных отходов для восстановления оксидов хрома и других элементов из шлака в печь присаживают раскислители (ферросилиций, ферросиликохром и др.).

Шлак перед выпуском должен быть светлым. Выдержка металла под светлым шлаком не менее 30 мин.

Конечное раскисление металла производится в соответствии с требованиями нормативно-технической документации и технологическими инструкциями.

Корректировку стали по химическому составу на марочное содержание производят в печи или ковше.

Микролегирование и модифицирование стали производят в печи или в ковше. Место и время присадки, количество при-

саживаемых материалов указаны в технологических инструкциях. Контроль за правильностью выполнения этих операций осуществляют работники ОТК.

1.7 Продувка металла аргоном в ковше производится в специально оборудованных ковшах через одну или несколько пористых пробок в дне ковша. Футеровка ковша шамотная или муллитокорундовая.

Продувка металла в ковше аргоном осуществляется в вакуумной камере или на открытых площадках. Обязательной продувке аргоном порежат флокеночувствительные стали, коррозионностойкие стали, легированные кремнием и др. Продувка металла аргоном продолжается 5-15 мин. в зависимости от температуры стали в ковше. Расход аргона составляет 0,3-0,9 м³/т и оговаривается частными инструкциями.

В процессе обработки визуально контролируется характеристика "кипения" шлака в ковше. Не допускается оголения металла от шлака.

1.8 Разливка металла в изложницы.

Металл разливается сифоном в изложницы ря слитков массой от 0,6 до 14,7 т под слоем жидкого шлака.

Для разливки используют ковши, футерованные шамотными и муллитокорундовыми огнеупорными изделиями. Разливка в основном осуществляется через шиберные затворы.

Годные к работе экзотермические смеси, лункерит и другие материалы маркируются номером партии, датой изготовления, номером бригады-исполнителя. Годное сменное оборудование маркируется порядковым номером. Для маркировки слитков используются маркировочные скобы и маркировочные полосы, на которых клеймовкой наносится № плавки и слитка, марка стали.

Изложницы ря разливки чистятся, все каналы поддонов, центровые и изложницы продуваются сжатым воздухом. После подготовки составов к разливке изложницы накрываются металлическими крышками. Перед разливкой контролируется температура стали. В процессе разливки контролируется время наполнения металлом изложницы, характер заполнения (не допускаются "подкипание", завороты и т.д.), правильность маркировки. Контроль за ходом разливки осуществляет мастер и контролер ОТК.

В середине разливки металла из разливочного ковша отбирается проба стали на полный химический анализ. При соответствии химического состава металла плавки требованиям НТД, а также требованиям технологических инструкций по выплавке и

разливке мастер ОТК выписывает анализную карту плавки, где указываются: № плавки, марка стали, полный химический состав, температура металла, количество и масса слитков, схема расположения слитков на составе.

С целью предупреждения ошибок и обеспечения требуемого уровня качества всю технологическую операцию контролируют работники ОТК.

Слитки передаются в перепельные цехи горячим всадом или охлаждаются в изложницах, затем на воздухе. Слитки, охлажденные на воздухе, складываются поплавно на специально отведенных участках. Маркировка слитков производится

маркировочной скобой. Слитки на складе маркируются краской (№ плавки, марка стали, № слитка), а также аналогичной клеймовкой в нижней части слитка.

1.9 Процессы вакуумно-дугового и электрошлакового переплава.

1.9.1 ВДП.

Методом ВДП изготавливают: жаропрочные сплавы, коррозионностойкие, конструкционные, подшипниковые и другие стали. Типоразмер слитков от круга 320 до 530 мм и массой от 1 до 7 т.

Расходуемые электроды отливаются в кокили или на установке полунепрерывной разливки стали. Перед ВДП поверхность электродов подвергается абразивной зачистке (станки МАЗ), токарной или плазменной обработке.

ВДП осуществляется при остаточном давлении 10^{-3} мм рт.ст. Управление режимом переплава автоматическое. Поверхность слитков ВДП обрабатывается на токарных станках, машинах абразивной зачистки или установках плазменнотермического рафинирования поверхности.

1.9.2 ЭШП.

Методом ЭШП изготавливают подшипниковые, конструкционные, коррозионностойкие и другие стали.

Типоразмеры слитков ЭШП: для прутков и трубной заготовки от круга 300 мм до квадрата 565 мм массой 0,8-4,5 т, для листового проката 630 x (1100-1460) мм и массой 9-20 т.

Расходуемыми электродами для слитков Ø300-кв.555 мм служит ковкая (катаная) заготовка Ш180 - кв.240 мм или литая заготовка кв.370 мм. Для листовых слитков используют слябы.

Перед ЭШП электроды подвергают абразивной зачистке, или их травят в кислородном растворе, или обрабатывают на дробеметной установке.

ЭШП листовых слитков проводят на "жидком" старте, слитков 4,5 т и менее на "твердом" старте.

В качестве рабочих флюсов используют шлаковые системы 70% CaF_2 - 30, А1Д - 30%, CaO - 24%; CaF_2 - 5%, А1Д - 40%, SiO_2 (флюс АН-32) и др.

ЭШП производят на переменном токе промышленной частоты. Контролируемые параметры ЭШП: сила тока, напряжение, сопротивление шлаковой ванны. Процесс автоматизирован. Поверхность слитков ЭШП не требует ремонта. В случае необходимости поверхность слитков подвергается абразивной зачистке.

1.10 В настоящее время на заводе действует следующая нормативно-техническая документация (НТД):
- постоянные технические условия - 370;



ЗШП



Расходуемый электрод



Закалочная ванна

- сортаментные государственные стандарты -14;
- государственные стандарты на металлопродукцию - 34;
- государственные стандарты на методы испытаний - 51.

На основании требований НТД разрабатывается внутризаводская технологическая документация: технологические инструкции по выплавке и разливке стали, переплавленным процессам, использованию и сбору вторичных черных металлов, приготовлению и хранению сырых материалов, инструкции по отбору проб и замеру температуры.

КУЗНЕЧНО-ПРЕССОВЫЙ ЦЕХ



2.1 Кузнечно-прессовый цех состоит из участка пресса 60 МН, участка пресса 32 МН и адьюстажа.

2.2 В передельных цехах на основании утвержденных сортаментов формируется месячный график производства по профилям и маркам с посуточной разбивкой.

Начальник передельного производства (замначальника передельного производства), кураторы станков контролируют выполнение графиков производства и обеспечение металла под выполнение данного графика.

Исполнение суточного и сменного графика оформляется рапортами, которые подаются в ПРБ цеха. ПРБ цеха сменные рапорта оформляют суточным рапортом и представляют кураторам соответствующих станков (цехов) для контроля исполнения месячных графиков производства.

2.3 Для изготовления поковок в КПП установлены два гидравлических пресса с номинальным усилием 60 и 32 МН.

Питание коковочных прессов жидкостью высокого давления (Р-31, 381280 мПа) осуществляется от насосно-аккумуляторной станции.

Прессы оснащены коковочным манипуляторами грузоподъемностью на прессе усилием 60МН - Ют и на прессе 32 МН - 5 т и шаржир-машинами грузоподъемностью - 5 т.

2.4 Ковка.

2.4.1 Для нагрева слитков и заготовок перед ковкой в цехе имеются нагревательные печи:

нагревательные печи с выкатной подиной - 2 печи с площадью пода 407 м², максимальная масса - 150т

-9 печей -18,6 м² - 55т

-2 печи - 13,5м² - 41т

и камерные печи со стационарной

подиной

- 7 печей -13,5 м² - 20,2т

Печи отапливаются природным газом.

Перед посадкой слитков или заготовки в печь подина печи должна быть в исправном состоянии.

Слитки, в зависимости от температуры, при посадке в нагревательные печи, делятся на 3 вида:

горячий всад - 500°С и выше

подстуженные - 300 - 500°С

холодный - ниже 300°С.

Температура печи при посадке слитков устанавливается технологической инструкцией.

Нагревательщик металла регистрирует в печном журнале и рабочей карте:

- дату и время посадки и выдачи;
- номер печи;
- номер плавки;
- марку стали;
- размеры сечения слитков и заготовок;
- номер слитков и литеры слитков;
- схему посадки.

Нагрев слитков и заготовок производится по конкретным технологическим режимам для каждой группы марок стали.

Непрерывное пребывание металла в печи при максимальной температуре нагрева не должно превышать 12 часов.

В случае остановки прессов из-за поломки оборудования или других причин разрешается снижение температуры в соответствии с технологической инструкцией. .. *

2.4.2 Слитки, поступающие в КПЦ, проверяются на соответствие внутризаводским техническим условиям по качеству поверхности, маркировке и др.

Картыковки на сортовые поковки разрабатываются на основании технологических карт по утвержденной в установленном порядке технологии. Ковка поковки производится по утвержденной схеме размеров технологической карты.

Нагрев слитков под ковку производится по режимам, указанным в инструкции.

Ковка начинается с откова цапфы: круг, квадрат от 150 до 500 мм, рина от 350 до 500 мм. Обжатия выбираются в зависимости от пластичности стали, но не более 200 мм за ход прессы.

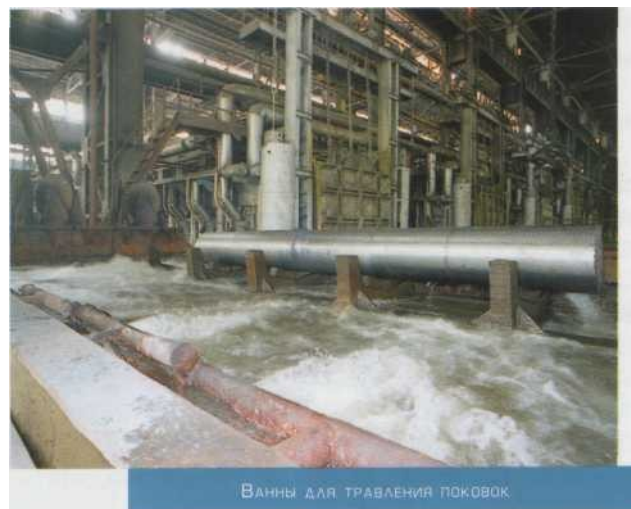
Температура концаковки контролируется стационарными параметрами. Ковку слитков, как правило, следует начинать небольшими обжатиями (2-3 прохода).

В случае появления прогрессирующих рванин ковка прекращается, а металл дополнительно подогревается.

Отдельные грубые дефекты порежат вырубке на прессах.



Нагревательная печь кузнечно-прессового цеха



Ванны для травления поковок



Ковочный манипулятор

Осадка производится на осадочных плитах при этом Н/Д не должно превышать 2,5 ря заготовки и 2,8 для слитков.

Допуск на поковки устанавливается в соответствии со стандартами, техническими условиями и спецификациями.

Припуск на обдирку и зачистку ковanej передельной заготовки назначается в зависимости от диаметра марки стали и колеблется в пределах 15-25 мм.

Поковки маркируются методом горячего клеймения: на каждую поковку наносится клеймо с обозначением марки стали, номера плавки, номера слитка и индекса поковки.

2.4.3 Термообработке подвергаются поковки сталей и сплавов после охлаждения в термостатах, печах или на воздухе.

Металл укладывается на подовые брусья или упаковывается в бугели.

Продолжительность выдержки устанавливается по меньшему суммарному сечению садки. Масса садки ря термической печи не более 30 тонн.

Режимы термообработки ря каждой марки стали устанавливаются инструкцией.

Продолжительность выдержки устанавливается в зависимости сечения металла и массы садки.

Температура в процессе термообработки контролируется по трем сводовым и четырем боковым термопарам. Показания термопар еже часно заносятся в карту отжигальщиком и проверяются мастеромковки.

В цехе установлены три печи ря термообработки с площадью пода 18,3 м³ и максимальной массой садки 80т. Печи отапливаются природным газом. Построены в 1972 году.

2.5 Кузнечный цех.

Кузнечный цех состоит из следующих отделений:

- молотовый пролет и пролет радиально-ковочных машин;
- адыюстаж сорта;
- отделение обдирки металла.

Оборудование цеха: пневматические молота с массой падающих частей 3т, 2т установлены в 1946-1950гг., 1т, радиально-ковочные машины усилием 10 и 3,4 (установлены в 1980-1982гг.).

2.5.1 Нагрев металла ряковки на молотах производится в методических печах, отапливаемых коксодоменным газом:

- трехзонные печи ря молотов 3т;
- двухзонные печи ря молотов 2т и 1т.

Построены в 1945-1950гг.

Нагрев металла ряковки на машине 10 МН производится в двух 4-х зонных кольцевых печах, отапливаемых природным газом. Диаметр печи

14,3 м.

Нагрев металла ряковки на машине 3,4 МН производится в трехзонной двухрядной методической печи с шагающими балками - отапливаемой природным газом.

Нагрев производится в соответствии с разработанными ря каждой стали или группы марок режимами нагрева ря слитков (заготовки).

Перед посадкой в печь слитки и заготовки подвергаются внешнему осмотру с целью предотвращения посадки слитков (заготовок) с дефектами. Проверяется назначение плавки, размеры слитков (заготовок), количество, маркировка. Все



Радиально-ковочная машина

данные должны соответствовать рабочей карте, а назначение металла - требованиям заказа.

Для каждой марки стали устанавливается режимковки: величина обжатий за проход и скорость продвижения (подачи) металла. Ковка начинается только легкими ударами. Величина подачи должна быть в пределах 0,25-0,9 ширины бойка.

По мерековки окалина сдувается или сметается с бойка. В процессековки поверхность заготовки должна быть ровной, без заковов и вмятин.

Порубленный или порезанный на станках абразивными кругами в соответствии с заказом металл маркируется (на торце или боковой поверхности): номером плавки, маркой стали, номером слитка, литерой штанги, знаком ОТК.

2.5.2 Металл охлаждается в неотапливаемых колодцах или на воздухе по разработанным режимам. В цехе имеется 6 колодцев для замедленного охлаждения металла.

После охлаждения металл, порезанный термической обработке, через определенное время передается на отжиг.

Отжиг металла производится в камерных печах с выкатным подом (4 шт), отапливаемых коксодоменным газом. Средняя масса садки 25т. Площадь подины 18м².

Посадка металла на отжиг производится в бугелях, по высоте садка разделяется на ярусы для улучшения прогрева.

Режимы термической обработки определяются инструкцией.

2.5.3 Для адьюстажной обработки в цехе применяется следующее оборудование:

- станки абразивной зачистки (5 станков).

Режимы обработки в соответствии с требованиями нормативной документации указаны в технологической инструкции по адьюстажной обработке.

Обработанный металл контролируется ОТК путем визуального осмотра поверхности 100% прутков и замера геометрических размеров.

3.1 Документом на поставку слитков из сталеплавильных цехов в прокатный цех является анализная карта плавки (выдается экспресс-лабораторией соответствующего сталеплавильного цеха) с отметкой отдела технического контроля о соответствии металла данной плавки требованиям необходимой нормативной документации.

Слитки плавов, по своему химическому составу соответствующие графику выплавки (заказу), и требуемой нормативной документации принимаются для посадки в колотцы блюминга.

Доставка слитков к нагревательным колотцам обжимного стана производится по железной дороге.

Требования к технологии заказа оговариваются рабочей картой стана, где указывается требуемый профиль, рина, необходимость термообработки, стандарт или технические условия на готовую продукцию.

3.2 Для слитков, поступающих на обжимной стан в горячем состоянии, основными контролируемыми параметрами являются химический состав и температура. Для слитков, поступающих в холодном состоянии, основными контролируемыми параметрами являются химический состав и соответствие маркировки данным анализной карты плавки и качества поверхности требованиям технологических инструкций.

Перед посадкой слитков контролером ОТК проверяется соответствие химического состава требованиям заказа, температуры посадки требованиям инструкции, соответствие расположения слитков схеме, приведенной на анализной карте плавки, маркировки и качества



поверхности.

Контролер ОТК совместно с нагревальщиком определяют температуру поверхности слитков горячего всада по кривым охлаждения или по таблице. Посадка слитков в нагревательные колодцы производится после разрешения контролера ОТК.

Длительность посадки слитков одной плавки не должна превышать 15-25 мин в зависимости от марок стали.

В холодный период года (при температуре ниже -10°C) слитки холодного всада перед посадкой в нагревательные колодцы выдерживаются в пролете нагревательных колодцев не менее 24 часов.

3.3 Блюминг "1050-950" мм.

3.3.1 Нагрев слитков горячего и холодного



Клеть стана "1050"/"950"



Блюминг стана "1050"/"950"

всегда перед прокаткой осуществляется в рекуперативных нагревательных колодцах.

В пролете расположено 12 групп колодцев. Каждая группа колодцев состоит из двух ячеек размером 5,54x4,65x3 метра.

Отапливаются колодцы коксо доменной смесью с добавкой природного газа.

Для сжигания газа каждая ячейка оборудована газовой горелкой в центре пода, двумя рекуператорами, расположенными с двух противоположных сторон ячейки. Рекуператоры керамические с общей поверхностью нагрева 270 м² используют теплоту отходящих газов с температурой около 1100-1250°C.

Колодцы оборудованы контрольно-измерительной аппаратурой.

Процесс нагрева слитков осуществляется с автоматическим регулированием температуры горения и давления в ячейке. Возможно полуавтоматическое или дистанционное управление.

Масса садки в одну ячейку не должна превышать 80 тонн.

Минимальное количество слитков, нагреваемых в одной ячейке, 8 штук. В одной ячейке могут нагреваться слитки не более трех групп марок стали, соответствующих режимов нагрева. При посадке в ячейку слитков сталей разных групп нагрев ведется по режиму

для стали, имеющей более медленный подъем температуры, более низкую температуру и меньшую

тельность томления.

После выдачи таких слитков производится нагрев с максимальной скоростью до заданной температуры слитков других групп.

На доске посадки нагревательщиком записываются: номер плавки, марка стали, количество слитков, время начала и конца посадки, температура слитков и ячейки при посадке, схема посадки слитков. Аналогичные данные заносятся контролером ОТК в специальный журнал.

Необходимая температура металла устанавливается задатчиком температуры на потенциометре.

Задание температуры изменяется в процессе нагрева металла в соответствии с режимом ря данной марки стали. Допускаемые отклонения от заданных температур плюс 10°C, минус 20°C. Температура в колodцах проверяется при помощи контрольного оптического пирометра после 20-минутной выдержки при заданной температуре и давлении ря данной ячейки, с обязательной предварительной проверкой правильности работы потенциометра.

При остановках стана продолжительностью до 2 часов температура томления ячейки со слитками понижается на 100°C, при простое более 2 часов - понижается не менее, чем на 200°C.

По окончании простоя производится нагрев до температуры томления, томление и выдача слитков на прокатку.

Выдача слитков производится равномерно с таким расчетом, чтобы они не задерживались перед станом.

Доставка нагретых слитков к стану производится с помощью слитковоза.

3.3.2 Прокатка слитков осуществляется на блюминге "1050-950", представляющем собой обжимной дуо-реверсивный стан линейного типа, состоящий из двух клетей: обжимной (диаметр валков 1050 мм) и заготовочной (диаметр валков 950 мм). Каждая клеть имеет по 2 двигателя мощностью до 3500 квт. Стан пущен в 1955 году, реконструктивные мероприятия проводились в 1966 и 1998 годах.

В зависимости от развеса и марки стали слиток за 15-25 пропусков обжимается до нужного сечения. Передача слитка из калибра в калибр осуществляется манипуляторными линейками с передней и задней стороны. Кантовка раската на 90° производится кантователем с передней стороны клетки (установлен на левой линейке манипулятора).

Из обжимной клетки раскат поступает к ножницам 900 тонн, где обрезается прибыльная часть.

Квадратную заготовку сечением более 170 мм и сорт диаметром более 275 мм получают на обжимной клетке.

При прокатке сортового проката круглого

сечения диаметром 130-275 мм и заготовки ря сортовых станов сечением квадрат 100-160 мм раскат, после удаления прибыльной части на ножницах 900 тонн, передается шлеперами на рольганг линии заготовочной клетки.

На заготовочной клетке из квадратной заготовки по системе квадрат - овал, овал - круг за 2-4 пропуска получают прокат круглого сечения диаметром 160-275 мм и за 4-6 пропусков по системе квадрат - ромб - квадрат - овал - круг получают прокат диаметром 130-150 мм.

Квадратная заготовка 100-160 мм для сортовых станков прокатывается на заготовочной клети по системе ромб-квадрат за 4-6 пропусков.

Порезка металла на необходимые рины производится на ножницах усилием 1250 тонн или роторных пилах. Здесь же производится и отбор проб для проведения необходимых испытаний.

Обрезь от ножниц 900 т, 1250 т и пил после клеймения по желобу подается на конвейер, отводящий ее в короба, установленные на поворотной платформе.

Разрезанные на нужные рины заготовки и сортовой прокат маркируются, сбрасываются в карманы. Из карманов с помощью кранов металл передается, в зависимости от технологии и требований заказа, в ямы замеренного охлаждения, на площадки или грузится в вагоны.

3.3.3. Охлаждение металла после прокатки производится, в зависимости от марки стали, либо в неотапливаемых колодцах (ямах) замеренного охлаждения, либо на воздухе.

В пролете стана имеется 18 колодцев для охлаждения заготовки и 19 колодцев для охлаждения сортового проката.

Размеры рабочего пространства колодцев:
для заготовки 5000х5000х2000 мм
для сортового проката 7000х2500х2000 мм.

Температура металла при загрузке в колодцы замеренного охлаждения должна быть не ниже 700°C.

Замер температуры металла производится переносной термопарой через 20 минут после окончания загрузки, дальнейшие замеры производятся через каждые 4 часа.

В зависимости от марки стали время охлаждения может колебаться от 36 до 92 часов.

После охлаждения металл передается на адыюстажи, а металл, требующий термообработки, в соответствии с заказом отгружается не позднее установленного времени в термический цех.

3.3.4 Травление металла (химическая обработка) производится с целью удаления окалины и выявления поверхностных дефектов.

Отделение травления заготовки для сортовых станков состоит из 2 линий. Каждая линия является самостоятельным агрегатом, управление линиями осуществляется с поста управления, загрузка и выгрузка производится кранами. Линия рассчитана для травления заготовок размером 1250-3900 мм максимальным сечением 200х200мм. Максимальная грузоподъемность одной линии 70 т (семь корзин массой по 10 т). Средняя продолжительность травления одной садки (в каждой ванне) -15-20 мин. Пересадка корзин

производится последовательно из ванны в ванну. Каждая линия включает 6 ванн. Максимальная емкость одной ванны - 10 м³. Ванны футерованы кислотоупорным кирпичом. Температура раствора в ваннах 55-95°C.

Отделение травления сорта состоит из 3 травильных ванн, одной промывочной и одной ванны нейтрализации. Размеры ванн 6,5х1,4х2,2 м.

Травление металла производится в соответствии с режимами для групп марок стали, указанными в инструкции.

Контроль концентрации кислоты и качества протравленно-



Станок обдирочный КЖ 9350 (адыюстаж)

го металла производится в соответствии с требованиями инструкций.

3.3.5 Адьюстажная обработка металла стана "1050-950": а) заготовка ря сортовых станов.

Удаление поверхностных дефектов на заготовках производится абразивной зачисткой на станках.

Перед зачисткой производится осмотр поверхности заготовок, дефекты отмечаются мелом. Осмотр и отметку дефектов делают контролеры ОТК или рабочие, производящие зачистку металла. При необходимости производится предварительное травление поверхности заготовки.

Качество обработки заготовок проверяется контролерами ОТК методом визуального осмотра поверхности всех 4 сторон заготовок.

Принятые контролерами ОТК заготовки собираются и укладываются в штабели.

б) сортовой прокат.

Удаление поверхностных дефектов на сортовом прокате производится на механизированной линии, состоящей из следующего оборудования:

- правильная машина;
- станки ря светления поверхности абразивным кругом;
- станки ря сплошной абразивной зачистки;
- станок для абразивной порезки металла;
- ленточнопильные станки.

Кроме того, на участке находятся отдельно стоящие станки ря бесцентровой токарной (резцовой) обработки.

После правильной машины и светления поверхности металл попадает на механизированные столы, где производится визуальный осмотр поверхности проката, дефекты отмечаются мелом. Далее металл (при необходимости) передается на станки ря абразивной зачистки.

В случае необходимости вырезки дефектных участков металл передается на станки абразивной или пильной резки.

Вся трубная заготовка из нержавеющей и других марок стали (где требуется обдирка) после правильной машины передается на станки ря бесцентровой токарной (резцовой) обработки.

При необходимости, металл перед зачисткой или после резцовой обдирки травится с целью более четкого выявления возможных дефектов.

Качество обработки заготовок проверяется контролерами ОТК методом визуального осмотра 100% штанг и должно соответствовать требованиям нормативной документации, указанной в заказе.

Металл, который в соответствии с требованиями заказа должен проверяться на наличие внутренних дефектов, передается на специальные стеллажи и подвергается ультразвуковому контролю.

Настройка чувствительности приборов производится по специальным эталонам, что определяется требованиями заказа. Контроль осуществляется контролерами ОТК, прошедшими специальное обучение и имеющими удостоверение на проведение такого контроля.

3.4 Среднесортной стан "550"

Стан линейного типа в составе 4-х клетей:

I - обжимная - трио

II и III - черновые -



Стан "550"



Порезка металла на пилах горячей резки

трио

IV - чистовая - дуо.

Специализируется на производстве проката сечением

45-130 мм. Пущен в эксплуатацию в 1951 году, реконструирован в 1988 году. В сортаменте стана предусмотрен квадрат 50-80 мм.

3.4.1 Исходная заготовка квадратного сечения 135-147 мм и 175-190 мм поступает со склада.

Нагрев заготовок под прокатку производится в двух-трехзонных методических печах с нижним нагревом и торцевой задачей и выдачей. Внутренние размеры рабочего пространства 19800x4176 мм. Каждая печь оснащена рекуператором для подогрева воздуха. Отапливается коксодоменой смесью с добавлением природного газа. Защитная атмосфера отсутствует.

На прокатку назначаются заготовки, подвергнутые обработке на адьюстаже и принятые ОТК по соответствию качества поверхности требованиям инструкции, посадка их в печь производится при наличии аттестации ОТК в соответствии с заказом.

Перед посадкой в печь заготовки выкладываются на посадочные шлепперы заклепанными торцами в сторону нагревательных печей. Контролер ОТК проверяет маркировку заготовок. Во избежание смешивания металл подвергается проверке на марку стали методом искрения или с помощью переносного стилоскопа. Первая заготовка каждой плавки выделяется путем перевязки проволокой.

Нагрев заготовки осуществляется в соответствии с режимами для каждой марки (группы марок) стали.

Отклонения от указанных температур не должны превышать плюс 10°C, минус 20°C.

При вынужденных остановках стана или при задержках выдачи заготовок температура в сварочной или томильной зонах снижается на 50°-100°C в зависимости от длительности остановки.

В журнале посадки контролер ОТК записывает: время посадки и выдачи заготовки, температуру сварочной и томильной зон печи, время простоя и температуру печи во время простоя.

3.4.2 Прокатка нагретых заготовок производится по специальным схемам для круглых и квадратных профилей.

Прокатка производится на настроенном стане. Правильность настройки и качество поверхности калибров определяются геометрией профиля и отсутствием закатов и морщин на пробах и осадках. Для контроля качества поверхности проката от каждой плавки отбираются не менее 2 пробы для осмотра поверхности.

При прокатке сталей с ограниченной температурой конца прокатки температура раската перед IV клетью замеряется оптическим пирометром или ФЭП и записывается в рабочую карту контролером ОТК.

Порезка металла осуществляется с помощью

роторных пил. Обрезь после клеймения попадает в короба. Готовый металл маркируется и сбрасывается в карман.

3.4.3 Охлаждение металла после прокатки производится (в зависимости от марки стали) либо в штабелях на воздухе, либо в колодцах (ямах) охлаждения (10 шт.) имеющих размеры:

5000х2500х20

00 - 6шт.

7000х2500х20

00 - 4 шт.

Время охлаждения в зависимости от марки стали колеблется от 24 до 48 часов.

После охлаждения металл передается на адъюстаж или отгружается не позднее установленного времени в термический цех для проведения необходимой термообработки.

3.4.4 Травление (химическая обработка) и адъюстажная обработка металла производятся в соответствии с технологической схемой и утвержденными технологическими инструкциями.

3.5 Мелкосортные станы "325" и "280" Техническая характеристика станов приведена в таблице 3.1

Наименование	Стан 325	Стан
1. Тип стана	линейный	линейн
2. Количество линий	2	3
3. Количество клетей		
- в обжимной	3	1
- в черновой	-	2
- в чистовой	5	7
4. Мощность		
- обжимной линии	800	550
- черновой линии	-	580
- чистовой линии	1250	1200
5. Сечение исходной	фнП 85-	85-110

Таблица 3.1 - Техническая характеристика станов "325" и "280" Пущены в эксплуатацию:

стан 325 в 1951 году, стан 280 в 1952 году.

3.5.1 Нагрев заготовок для прокатки осуществляется в двухзонных методических печах с нижним нагревом с торцевой задачей и боковой выдачей (по 2 печи, на каждом стане).

Внутренние размеры печей (мм):

стан "325"-15200x2761

стан "280" -13000x2155

Подогрев воздуха осуществляется в рекуператорах. Отапливаются коксодоменной смесью с добавкой природного газа. Отклонение от заданной температуры не должно превышать 10°C.



3.5.2 Прокатка металла в зависимости от профиля производится по разработанным схемам на настроенном стане. Контроль качества поверхности и геометрии прутков в процессе прокатки производится путем осмотра протравленных проб и проб на горячую осадку. Пробы отбираются от каждой партии-плавки.

Порезка металла на прутки необходимой по заказу рины производится на ножницах холодной резки с применением профильных ножей. После порезки металл маркируется и передается на охлаждение.

3.5.3 Охлаждение металла после прокатки производится замедленно в термостатах или на воздухе. Режимы охлаждения установлены инструкцией.

Продолжительность охлаждения проката в термостатах 24-36 часов, после чего металл, подвергаемый в соответствии с заказом термообработке, передается в термический цех не позднее 8 часов с момента выгрузки из охлаждающего устройства.

Время загрузки металла в охлаждающее устройство и время выгрузки отмечается в рабочей карте контролером ОТК. Температура металла при выгрузке - не выше 120°C.

3.5.4 Травление (химическая обработка) металла (при необходимости) производится в травильном отделении рья сортового металла в соответствии с технологической схемой.

3.5.5 Адьюстажная обработка металла производится на адьюстаже мелкого сорта, имеющем в своем составе правильные средства, линии и станки для абразивной шлифовки, а также станок для бесцентровой токарной обработки. Качество проката должно соответствовать требованиям нормативной документации, указанной в заказе, и перед пакетировкой и отгрузкой проверяется контролером ОТК.

Маркировка проката выполняется непосредственно на станах после порезки металла. Маркировка наносится:

- на станах "950" и "550" - на торец штанг;
- на станах "325" и "280" - на боковую поверхность прутков

на расстоянии 30-150 мм от торца.

На металл, поставляемый в мотках, клеймо не набивается, маркировка наносится на металлические бирки, навешиваемые на мотки и связки мотков.

В сортаменте стана "325" круг диаметром 22-42 мм полосы, квадраты, арматурный простой шестигранник. На стане "280" прутки диаметром 10-22 мм квадраты, простой в бутах 8-13 мм, арматурная сталь

Маркировка содержит: клеймо ОТК, марку стали или ее условное обозначение, номер плавки, дополнительные знаки (номер слитка, литер штанги).

Прутки укладываются в пачки (связки) заклеенными торцами в одну сторону.

3.5.6 Все процессы технологии передела металла в прокатном цехе, обеспечивающие качество продукции в соответствии с требованиями стандартов, изложены в технологических инструкциях по нагреву металла, прокатке на станах, порезке, в т.ч. (удаление обреза), охлаждению после прокатки, травлению, адьюстажной обработке, ультразвуковому контролю, отбору проб для проведения испытаний металла. Всего 22 инструкции.

**ТЕРМИЧЕСКАЯ
ОБРАБОТКА
МЕТАЛЛА**



Печь для термической обработки поковок

4.1 Данные по термической обработке металла Термическая обработка металлопродукции производится в следующих подразделениях завода:

- металл после прокатки на станах "950" "550" "325" и "280" - в термическом цехе;
- поковки кузнечно-прессового цеха - в термическом отделении этого же цеха;
- металл, откованный на молотах и радиально-ковочных машинах кузнечного цеха - в термическом отделении этого же цеха.

Виды термической обработки металлопродукции, применяемые на заводе: отпуск (низкий отжиг), полный отжиг, противофлюксовая термообработка, нормализация. Диапазоны температур для данных видов термообработки - 660° - 880°С.

Кроме того, на заводе имеется оборудование для проведения закалки (отжига) проката и поковок из аустенитных нержавеющих сталей, а также для термоулучшения проката и поковок диаметром 160-550 мм из конструкционных легированных сталей.

Металл, в соответствии с заказом требующий термообработки, поступает из прокатного цеха в термический цех или с участков деформации кузнечно-прессового и кузнечного цехов в соответствующее термическое отделение.

Одновременно с металлом в термический цех передается рабочая карта прокатного стана (картаковки в кузнечно-прессовом и кузнечном цехах) на данную плавку, где указан номер заказа и требования нормативной документации к данной металлопродукции. Бригадир пакетировщиков проверяет соответствие поступившего металла данным, указанным в рабочей карте (стана): маркировку на металле и маркировочной бирке, номера плавки, марки стали, профиля, массу поступившего металла.

Поступивший металл пакетируется на стеллажах в бугели, на поддоны или решетки.

Укладка металла производится в ячейки отдельными ярусами, которые разделяются горизонтальными прокладками. В каждом ярусе размещается металл только одной плавки и одного профиля. Для ускорения прогрева, кроме горизонтальных прокладок, садка разделяется вертикальными прокладками.

После упаковки садки бригадир пакетировщиков выписывает карту отжига, куда заносится номер плавки, марка стали, профиль, масса, эскиз садки.

На основании задания сменного мастера и в соответствии с требованиями технологических инструкций бригадир отжигальщиков на карте отжига задает режим термообработки для данной садки.

4.2 Технологическое оборудование

В составе термического цеха 26 отжигательных камерных печей с подподовыми топками. Загрузка металла производится с помощью напольных загрузочных машин. Для термообработки поковок в кузнечно-прессовом цехе установлены три термические камерные печи с полезной площадью пода 18,3м². Загрузка металла производится с помощью напольных загрузочных машин.

В кузнечном цехе установлены две камерные печи с выкатной подиной, предназначенные для термообработки кованого металла. Во всех цехах печи оборудованы автоматическим управлением заданным режимом и контрольно-измерительной аппаратурой, с помощью которой

измеряется температура в рабочей зоне, давление газа и воздуха. Эти параметры в процессе термообработки каждой партии записываются автоматически на диаграмме.

4.3 Технология термической обработки

Спакетированный металл по указанию старшего отжигальщика загружается напольной машиной в печь с зажженными горелками.

После загрузки металла в печь старшим отжигальщиком на карте отжига указываются номера печи и отжига.

Прокат трещинно-чувствительных марок стали загружается на отжиг не позднее, чем через 48 часов после выгрузки из средств замедленного охлаждения в прокатном (кузнечном) цехе.

Ряд сталей, охлажденных после прокатки на воздухе, в соответствии с разработанной технологией, необходимо отжигать не ранее 24 часов и не позднее 72 часов (а некоторых марок стали не позднее 4-7 суток).

Термообработка металла производится по режимам, предусмотренным технологическими инструкциями.

Температура печи при посадке (кроме сталей X23Ю5, X27Ю5Т) не ограничивается. Скорость нагрева металла в зависимости от марки стали колеблется от 70°С/час до 200°С/час. Продолжительность выдержки при заданной температуре устанавливается в зависимости от массы садки.

Температура в процессе термообработки контролируется по трем сводовым и четырем боковым термопарам, установленным на расстоянии 200-250 мм от металла. Показания термопар кроме автоматической записи на диаграмме, записываются ежечасно в карту отжига отжигальщиком и периодически проверяются старшим отжигальщиком или мастером.

Величина расхождения показаний сводовых и боковых термопар при подъеме температуры не ограничивается. Начало выдержки отсчитывается при достижении заданной температуры тремя сводовыми термопарами. При выдержке (после выравнивания температуры по всем термопарам) допускается расхождение по температуре 10°С.

Продолжительность выдержки металла в печи зависит от массы садки или указывается непосредственно в технологической инструкции на данной стали (группы марок стали).

Необходимая температура металла устанавливается задатчиком температуры на потенциометре, задание температуры изменяется в процессе нагрева в соответствии с режимом на данной марки (группы марок) стали.

После выгрузки из печей металл охлаждается в соответствии с инструкциями на стеллажах или в камерах охлаждения.

Металл рассортировывается только после полного потемнения садки. Рассортировка ведется поплавно, обновляются бирки (ярлыки), на которых разываются номера плавки и отжига, марка стали и профиль.

Производится отбор проб на проверку качества металла в соответствии со стандартом

(заказом), а также замер твердости металла с помощью прессы Бринелля.

В дальнейшем металл подвергается правке и отгружается на дальнейшей обработки на адыюстаж.

В соответствии с технологической схемой металл травится (травление серноокислотное).

4.4 Документация и контроль процесса термообработки Контрольными документами процесса термообработки партии металла являются диаграмма контрольно-измеритель-



Печь для термической обработки поковок



Отжигательная камерная печь

ного прибора и карта отжига, которые удостоверяются подписями соответственно бригадира участка КИП, бригадира-отжигальщика и мастера (начальника) смены.

Как указывалось, контроль за процессом термообработки осуществляется с помощью контрольно-измерительной аппаратуры.

Производится регулярная (не менее 3 раза в сутки) проверка работы контрольно-измерительных приборов на печах сменными работниками цеха контрольно-измерительных приборов с помощью переносного контрольного потенциометра. Ответственность за надежную работу указанных приборов несет начальник участка эксплуатации цеха контрольно-измерительных приборов.

Перед отгрузкой приемку металла на соответствие требованиям стандарта производят работники ОТК.

При необходимости металл контролируется на марку стали переносным стилоскопом или методом проверки на искру. Если требуется заказ, металл контролируется на наличие внутренних дефектов с помощью ультразвукового контроля.

4.5 Технологические инструкции

Процессы термической обработки металла описаны в соответствующих технологических инструкциях по каждому из цехов (термическому, кузнечно-прессовому, кузнечному, СПЦ-5) и включают в себя разделы входного контроля, пакетировки металла, режимы термообработки.

ЦЕХ ПОРОШКОВОЙ МЕТАЛЛУРГИИ



„ А

При производстве быстрорежущих сталей с высоким содержанием углерода и легирующих элементов классические способы выплавки и разливки сопровождаются образованием грубых структур. Известные способы улучшения структуры (модифицирование, рафинирующие переплавы, обработка жидкого металла инертными газами, специальные схемы передела и др.) трудоемки и недостаточно эффективны.

На заводе "Днепропеталь" впервые в стране введен цех по производству быстрорежущей стали методом порошковой металлургии. Технологией предусмотрены выплавка исходного металла в индукционной печи емкостью 4 т, распыление жидкого металла инертным газом в герметической колонне и заполнение металлических капсул порошком с последующим их вакуумированием и герметизацией.

Капсулы, наполненные порошком, диаметром 500 и высотой 1730 мм подвергают вначале холодному гидростатическому прессованию (при 360 МПа), а затем нагреву и горячему газостатическому прессованию (при температуре 1150°C, выдержка при давлении 100 МПа в течении 2 ч - 4 ч).

Прессованные заготовки, изготовленные по такой технологии, имеют плотность 100% теоретической. Высокая химическая и структурная однородность металла, обусловленная высокими скоростями его охлаждения при распылении (103-105 град/с), обеспечивает хорошую технологичность пластичность. Прессованные заготовки быстрорежущей стали можно подвергать и ковке, и прокатке.

Цех порошковой металлургии имеет три технологических участка: выплавки и распыления стали; изготовления металлических капсул заполнения их порошком и герметизация; компактирования порошка.



Прессовка в горячем состоянии



Капсулы с порошком



Газостат в работе

Применяемые в производстве методы холодного изостатического, а затем горячего

прессования в газостателе при температуре 1100-1150°C и давлении 1000 атм позволяют получить металл с однородной структурой с мелкодисперсной равномерно распределенной карбидной фазой. Дальнейший передел прессовок производится на гидравлических прессах, РKM 4, прокатных станах. Сортамент продукции: поковки круглого сечения диаметром 80-300 мм, металл опроек диаметром 20-80 мм. Инст

румент, изготовленный из порошковой быстрорежущей стали, по эксплуатационным характеристикам в 3-5 раз лучшего обычного.

**ЦЕХ АПЬЮСТАЖНОЙ
ОБРАБОТКИ
МЕТАЛЛОПРОДУКЦИИ**



Участок контроля линии 75 КС



Стол загрузки обдирочного стана 75 КС

Повышение конкурентноспособности металлопродукции завода на внешнем рынке вызвало объективную необходимость радикальной модернизации оборудования для финишной обработки, обеспечивающее качество поверхности нового уровня по точности и шероховатости.

Решение этой задачи достигается на оборудовании фирмы «Ландграф» (Италия), установленном в специально построенном уникальном модуле, обеспечивающем высокие требования предъявляемые к внутреннему микроклимату (температура, влажность, запыленность).

В составе оборудования две линии обточки металлопроката «75 КС» и «200 КІ».

Линия «75 КС» предназначена для обточки металлопроката диаметром 15-75 мм широкого марочного сортамента. В составе линии правильная машина фаскосъемное устройство, автоматическая линия резцовой обточки, правильно-полировальная машина и линия контроля качества. Состав оборудования позволяет получить продукцию по чистоте поверхности $R_a \leq 0,9 - 1,4$ мкм и точностью размера по квалитету 9.

Линия 200 КІ служит для обточки металлопроката диаметром 50-200 мм (числовой размер) с точностью изготовления по квалитету h9 до диаметра 160мм и шероховатостью $R_a \leq 1,2 - 2$ мкм. В составе линии станок для обточки (до 200 мм) и правильно-полированный агрегат (до 160 мм).

Подобное оборудование эксплуатируется впервые на металлургических предприятиях Украины.



Правильно-полировальная машина РМВ 2-80 и участок контроля линии 75 КС

**ОРГАНИЗАЦИЯ КОНТРОЛЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПЕРАМЕТРОВ И
ПРОФИЛАКТИКА КОНТРОЛЬНО-
ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ И
АВТОМАТИКИ**

За исправное состояние средств контроля и автоматики отвечает цех контрольно-измерительных приборов и автоматики (КИП и А), в который входят:

- лаборатория метрологического обеспечения;
- лаборатория тепловой автоматики, теплотехнических и электрических измерений;
- теплотехническая лаборатория;
- участок промышленной электроники;
- участки эксплуатации КИПиА.

Лаборатория линейно-угловых измерений и весоремонтная мастерская находятся в цехе ремонта оборудования и отвечают за состояние этих средств измерений в цехах завода.

Цех КИПиА отвечает за состояние метрологического обеспечения в целом по заводу, а также за состояние измерений давления, расхода температуры, электрических, радиотехнических, массы (электронные весы).

Химические и спектральная лаборатории ЦЗЛ отвечают за состояние измерений состава и свойств веществ; группа механических испытаний - за состояние этих испытаний и измерений, лаборатория дефектоскопии - за состояние методик и средств неразрушающего контроля, за разработку текущих и перспективных планов работ по модернизации и внедрению новых средств неразрушающего контроля.

Цех испытаний отвечает за состояние механических измерений и испытаний материалов. Лаборатория защиты воздушного и водного бассейнов отвечает за состояние светотехнических и акустических измерений. Лаборатория линейно-угловых измерений - за состояние средств измерений линейно-угловых величин. Весоремонтная мастерская - за состояние измерений массы (весы: образцовые, лабораторные, цеховые).

Подразделения, входящие в состав метрологической службы, обеспечивают по своему профилю:

- ремонт и поверку средств измерений, разработку и согласование документации;
- участие в проведении анализа обеспечения технологических процессов средствами измерений;
- метрологическая аттестация: не стандартизированных средств измерений и методик выполнения измерений, аналитических лабораторий, испытательных и др. подразделений;
- составление заявок на средства измерения, запчасти и материалы;
- контроль за правильным назначением и применением средств измерений, изъятие из эксплуатации не аттестованных, непроверенных, неисправных или использование не по назначению средств измерений;

- анализ и обобщение информации о состоянии применяемых средств измерений, изучение и исследование их эксплуатационных средств, составление соответствующих заключений и отчетов;

- разработка или участие в разработке новых средств и методов измерений;
- организация работы по повышению квалификации работ-

ников предприятия, связанных с выполнением измерений.

Поверку линейно-угловых средств измерений и термомпар до 1200°C осуществляют заводские поверители, остальные средства измерений порежат поверке в органах Госстандарта.

Удостоверением на годность средства измерений является оттиск клейма госинспектора на приборе и соответствующая отметка в паспорте прибора.

Годность линейно-угловых средств измерений отмечается в специальном журнале.

Кроме металлического блеска и пластичности, все металлы обладают высокой электропроводностью и теплопроводностью.

Особенность строения металлических веществ заключается в том, что они все построены из таких атомов, у которых

КРИСТАЛЛИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ МЕТАЛЛОВ

8.1 Металл.

Металловедение - наука, изучающая строение и свойства металлов и устанавливающая связь между их составом, строением и свойствами.

Приступая к изучению предмета металловедения, прежде всего надо ответить на вопрос: что такое металл?

В химии под металлами понимают определенную группу элементов, расположенную в левой части периодической таблицы Д.И.Менделеева. Элементы этой группы, вступая в химическую реакцию с элементами, являющимися неметаллами, отдают им свои внешние, так называемые валентные электроны. Это является следствием того, что у металлов внешние электроны непрочны связаны с ядром; кроме того, на наружных электронных оболочках электронов немного -1-2, тогда как у неметаллов много электронов - 5-8. Все элементы, расположенные левее галлия, индия и таллия - металлы, а правее мышьяка, сурьмы и висмута - неметаллы.

В технике под металлом понимают вещества, обладающие "металлическим блеском", в той или иной мере присущим всем металлам, и пластичностью. По этому признаку металлы можно легко отличить от неметаллов" например дерева, камня, стекла или фарфора. "Металлы суть светлые тела, которые ковать можно". Это определение металлов, данное М.В. Ломоносовым, не потеряло своего научного значения и теперь, через 250 лет. Этими свойствами обладают не только чистые элементы, например алюминий, медь, железо и др., но и более сложные вещества, в состав которых может входить несколько элементов-металлов часто с примесью заметных количеств элементов-неметаллов. Такие вещества называются металлическими сплавами. Следовательно, в более широком толковании металлические сплавы также могут быть названы металлами.

внешние электроны слабо связаны с ядром. Это обуславливает и особый характер химического взаимодействия атомов металла, и металлические свойства. Электроны заряжены отрицательно и достаточно создать ничтожную разность потенциалов, чтобы началось перемещение электронов по направлению к положительно заряженному полюсу, создающее электрический ток. Вот почему металлы являются хорошими проводниками электрического тока, а неметаллы ими не являются. Характерным электрическим свойством металлов является также и то, что с повышением температуры у всех без исключения металлов электропроводность уменьшается.

При химическом взаимодействии между металлами и неметаллами внешние электроны от атомов металла переходят к атомам неметалла. Атом металла превращается при этом в положительный ион, а атом неметалла - в отрицательный ион.

Итак, мы видим, что слабая связь наружных электронов с ядром обуславливает химические и физические свойства металлов.

В силу указанных выше особенностей металлы и сплавы имеют следующее атомно-кристаллическое строение. В определенных местах кристаллической решетки располагаются положительно заряженные ионы, а наружные свободные электроны создают внутри металла как бы легкотекучую жидкость, или электронный газ, который беспорядочно движется во всех направлениях. При определенных условиях, например при создании разности потенциалов, движение электронов получает определенное направление и возникает электрический ток.

Теория металлического состояния рассматривает металл как вещество, состоящее из положительно заряженных ионов, окруженных отрицательно заряженными частицами - электронами, слабо связанными с ядром. Эти электроны непрерывно перемещаются внутри металла и принадлежат не одному какому-то ядру, а всей совокупности атомов.

Таким образом, характерной особенностью атомно-кристаллического строения металлов является наличие электронного газа внутри металла, слабо связанного с положительно заряженными ионами. Легкое перемещение этих электронов внутри металла и малая их связь с атомами обуславливают наличие у металлов определенных металлических свойств (высокая электро- и теплопроводность, металлический блеск, пластичность и др.).

8.2 Классификация металлов

Каждый металл отличается строением и свойствами от другого, тем не менее по некоторым признакам их можно объединить в

группы (см.табл.7.1).

Прежде всего все металлы можно разделить на две большие группы - черные металлы и цветные металлы.

Черные металлы (во главе с железом) имеют темно-серый цвет, большой удельный вес (кроме щелочноземельных), высокую температуру плавления, относительно высокую твердость и во многих случаях обладают полиморфизмом.

Цветные металлы (во главе с медью) чаще всего окрашены (красные, желтые, белые), обладают большой пластичностью, малой твердостью, относительно низкой температурой плавления, для них характерно отсутствие полиморфизма.

Таблица 7.1 - Классификация металлов

Черные металлы, в свою очередь подразделяются на:

1. Железные металлы - железо, кобальт, никель (так называемые ферромагнетики) и близкий к ним по свойствам марганец. Кобальт, никель и марганец часто применяют как добавки к сплавам железа, а также в качестве основы ряда соответствующих сплавов, похожих по своим свойствам на высоколегированные стали.

2. Тугоплавкие металлы, температура плавления которых выше, чем железа (т. е. выше 1539°C). Применяются как добавки к легированным сталям, а также в качестве основы для соответствующих сплавов.

3. Урановые металлы - актиниды, имеющие преимущественное применение в сплавах для атомной энергетики.

4. Редкоземельные металлы (РЗМ) - лантан, церий, неодим, празеодим и другие, объединяемые под названием лантанидов, и сходные с ними по свойствам иттрий, скандий. Эти металлы обладают весьма близкими химическими свойствами, но довольно различными физическими (температура плавления и др.). Применяются они как присадки к сплавам других элементов. В природных условиях встречаются вместе и вследствие трудностей разделения на отдельные элементы для присадки обычно применяют смешанный сплав, так называемый мишметалл, содержащий 40-45% церия и 45-50% всех других редкоземельных элементов. К таким

смешанным сплавам РЗМ

следует отнести ферроцерий (сплав Се и Fe с заметными

количествами других РЗМ), дидим (сплав Nd и Pг

преимущественно) и др.

5. Щелочноземельные металлы в свободном металлическом состоянии применения не имеют, за исключением специальных случаев (например, в качестве теплоносителей в атомных реакторах).

Цветные металлы подразделяются на:

1. Легкие металлы - бериллий, магний, алюминий, обладающие малым удельным весом.

2. Благородные металлы - серебро, золото, металлы платиновой группы (платина, палладий, иридий, родий, осмий, рутений). К ним может быть отнесена и "полублагородная" медь. Обладают высокой устойчивостью против коррозии.

3. Легкоплавкие металлы - цинк, кадмий, ртуть, индий, оло-

во, свинец, висмут, таллий, сурьма и элементы с ослабленными металлическими свойствами - галлий, германий.

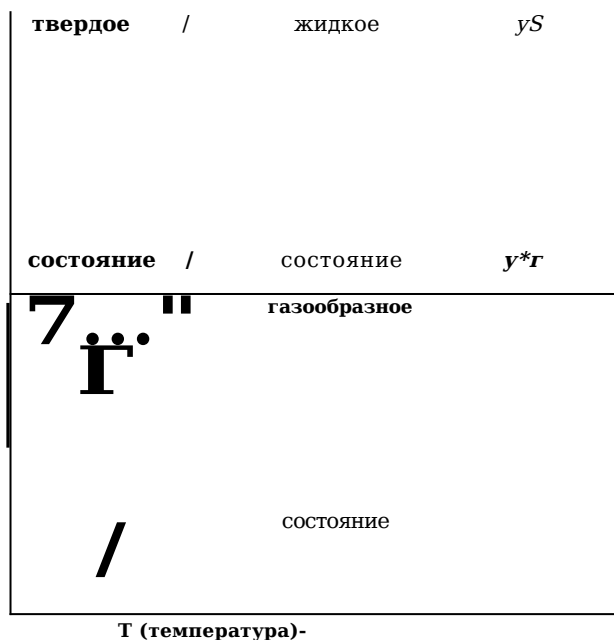


Рисунок 8.1 - Области твердого, жидкого и газообразного состояния в зависимости от температуры и давления

8.3 Кристаллическое строение металлов

Всякое вещество может находиться в трех агрегатных состояниях - твердом, жидком и газообразном.

Твердое вещество под воздействием сил тяжести сохраняет форму, а жидкое растекается и принимает форму сосуда. Однако это определение недостаточно для характеристики состояния вещества.

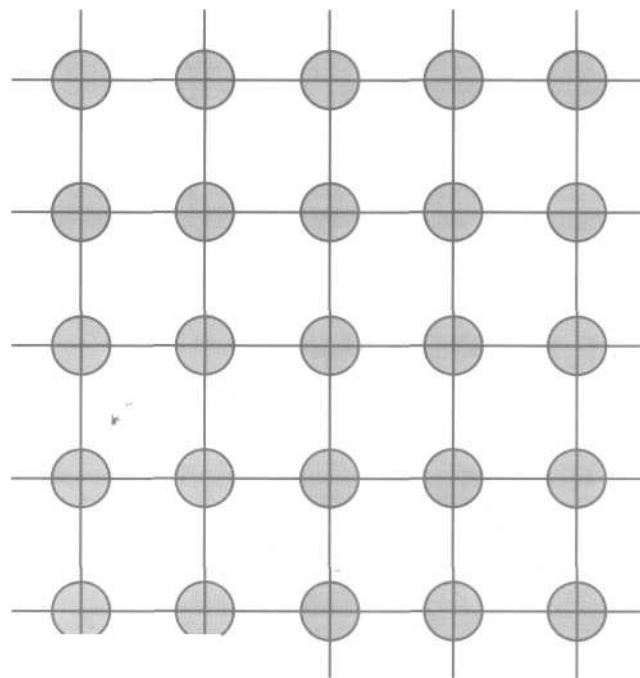
Так, например, твердое стекло при нагревании размягчается и постепенно переходит в жидкое состояние. Обратный переход будет также совершаться совершенно плавно - жидкое стекло по мере снижения температуры будет все больше и больше густеть и, наконец, загустеет до "твердого" состояния. У стекла нет определенной температуры перехода из жидкого в "твердое" состояние, нет и температуры (точки) резкого изменения свойств. Поэтому закономерно рассматривать "твердое" стекло как сильно загустевшую жидкость.

Следовательно, переход из твердого в жидкое и из жидкого в твердое состояние (так же как и из газообразного в жидкое) происходит при определенной температуре и сопровождается резким изменением свойств. В чем же различие между газообразным, жидким и твердым состояниями?

В газах нет никакой закономерности расположения частиц (атомов, молекул); частицы хаотически двигаются, отталкиваются одна от другой и газ стремится занять возможно больший объем.

В твердых телах порядок расположения атомов определенный, закономерный, силы взаимного притяжения и отталкивания уравновешены, и твердое тело сохраняет свою форму.

В жидкости частицы (атомы, молекулы) сохраняют лишь так называемый ближний порядок, т. е. закономерно расположе-



ны в пространстве небольшое количество атомов, а не атомы всего объема, как в твердом теле. Ближний порядок неустойчив: он то возникает, то пропадает под действием энергичных тепловых колебаний.

Из этого описания мы видим, что жидкое состояние - как бы промежуточное между твердым и газообразным; при соответствующих условиях возможен непосредственный переход из твердого состояния в газообразное без промежуточного расплавления - сублимация (рис.8.1).

Если взять большое количество атомов и пренебречь наличием ближнего порядка у жидкости, то можно сказать, что твердое состояние, в отличие от жидкого и газообразного, характеризуется определенным, закономерным расположением атомов в пространстве.

Правильное, закономерное расположение частиц (атомов, молекул) в пространстве характеризует кристаллическое состояние. Поэтому в физике кристаллическое состояние и твердое состояние - это синонимы.

Гипотеза о том, что в кристаллах расположение частиц (атомов) закономерное, была выдвинута очень давно (Е. С. Федоров, 1860 г.), но только после открытия рентгеновских лучей (Рентген, 1895 г.) и применения их к изучению строения кристаллов (М. Лауэ, 1912 г.) это было установлено экспериментально. Многочисленные работы, проведенные с того времени физиками многих стран, выявили расположение атомов в кристаллах различных веществ, в том числе металлов и сплавов. Атомы располагаются в кристалле в определенных местах. Кристаллическое строение можно представить себе в виде пространственной решетки, в узлах которой расположены атомы (рис. 8.2).

В следующем параграфе мы рассмотрим, какое расположение атомов (ионов) в пространстве характерно для металлов, т. е. какие кристаллические решетки встречаются у металлов.

8.4 Кристаллические решетки металлов.

Как указывалось, кристаллическое состояние прежде всего характеризуется определенным, закономерным расположением атомов в пространстве.

Это обуславливает то, что в кристалле каждый атом имеет одно и то же количество ближайших атомов - соседей, расположенных на одинаковом расстоянии.

Стремление атомов (ионов) металла расположиться возможно ближе друг к другу, плотнее (почему металлы и обладают более высоким удельным весом, чем неметаллы) приводит к тому, что число встречающихся комбинаций взаимного расположения атомов металла в кристаллах еще уменьшается.

Расстояние между центрами соседних атомов измеряется ангстремами ($1\text{\AA} = 1/10^8\text{см}$).

Весьма удобно расположение атомов в кристалле изображать в виде пространственных схем, в виде так называемых элементарных кристаллических ячеек. Под элементарной кристаллической ячейкой подразумевается наименьший комплекс атомов, который при многократном повторении в пространстве позволяет воспроизвести пространственную кристаллическую решетку.

Простейшим типом кристаллической ячейки является кубическая решетка, изображенная на рисунке.

В такой простой кубической решетке атомы уложены (упакованы) недостаточно плотно. Стремление атомов металла занять места, наиболее близкие друг к другу, приводит к образованию решеток других типов, в том числе кубической объемноцентрированной (рис.8.3а), кубической гранецентрированной (рис.8.3б) и гексагональной плотноупакованной (рис.8.3в).

8.5 Реальное строение металлических кристаллов.

Кристаллы металлов обычно имеют небольшие размеры.

Поэтому металлическое изделие состоит из большого числа кристаллов.

Подобное строение называется поликристаллическим. В силу ряда причин в поликристаллическом агрегате отдельные кристаллы не имеют возможности принять правильную форму. Кристаллы неправильной формы в поликристаллическом агрегате носят название зерен, или кристаллитов.

Исследования последних лет показали, что внутренняя

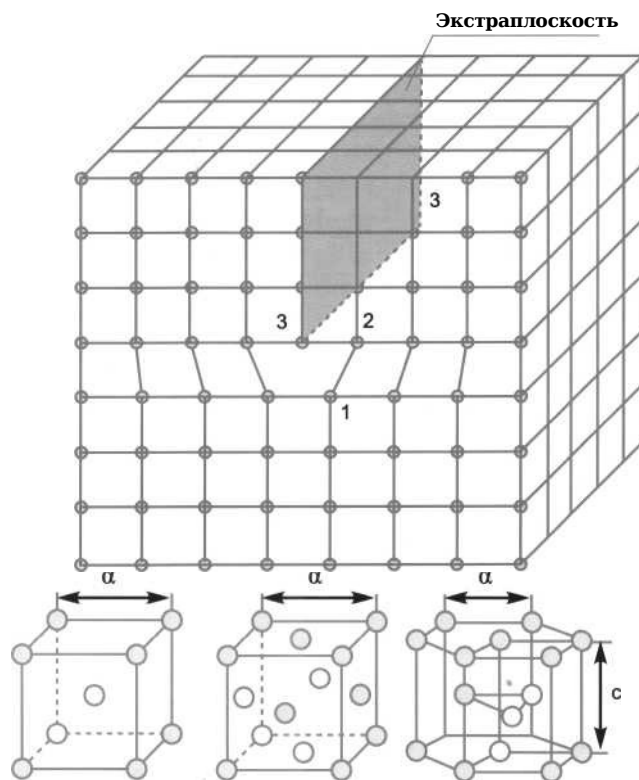


Рисунок 8.3 - Элементарные кристаллические ячейки

Рисунок 8.4 - Дислокация в кристаллической решетке (схема)

кристаллическая структура зерна не является правильной.

Характер и степень нарушения правильности или совершенства кристаллического строения определяют в значительной мере свойства металлов. Поэтому мы должны познакомиться с встречающимися несовершенствами кристаллического строения или, что то же самое, со строением реальных кристаллов.

Одним из видов несовершенств кристаллического строения является наличие незанятых мест в узлах кристаллической решетки, или иначе - вакансий, или атомных "дырок". Такой "точечный" дефект решетки играет важную роль в протекании диффузионных процессов в металлах.

Другим важнейшим видом несовершенства кристаллического строения является так называемые дислокации. Представим себе, что в кристаллической решетке по каким-либо причинам появилась лишняя полуплоскость атомов, так называемая экстраплоскость (рис.8.4). Край 3-3 такой плоскости образует линейный дефект (несовершенство) решетки, который называется краевой дислокацией. Краевая дислокация может простирается в длину на многие тысячи параметров решетки, может быть прямой, но может и выгибаться в ту или другую сторону. Вокруг дислокации возникает зона упругого искажения решетки, ширина дислокации, т.е. расстояние от центра дефекта до места решетки без искажения, невелика и равна нескольким атомным расстояниям.

Вследствие искажения решетки в районе дислокации последняя легко может смещаться, например вправо (влево) от нейтрального положения, а соседняя справа (слева) полуплоскость будет при этом переходить в промежуточное положение, превращаясь тем самым в экстраплоскость и образуя дислокацию вдоль краевых атомов 2, и.т.д. Мы видим, таким образом, что дислокация может перемещаться (вернее, передаваться как эстафета) вдоль некоторой плоскости (плоскость скольжения), расположенной перпендикулярно к

экстраплоскости.

Согласно современным представлениям в обычных чистых металлах плотность дислокаций, т.е. количество дислокаций в одном кубическом сантиметре, превышает один миллион. Механические свойства металлов зависят от количества дислокаций и от способности их к перемещению.

Дислокации в металле распределены неравномерно. Исследования показывают, что концентрация дислокаций на границах зерен выше, чем в самих зернах, и поэтому избыточный дефектами (дислокациями) приграничный слой по свойствам может существенно отличаться от внутренних частей зерна.

$$F = U - TS, \quad (9.1)$$

где U - внутренняя энергия системы; T - абсолютная температура; S - энтропия.

КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ

9.1 Три состояния вещества.

Любое вещество может, как известно, находиться в трех состояниях: газообразном, жидком и твердом. В чистых металлах при определенных температурах происходит изменение агрегатного состояния: Твердое состояние сменяется жидким при температуре плавления, жидкое состояние переходит в газообразное при температуре кипения. Температура перехода зависит от давления, но при постоянном давлении они вполне определены.

9.2 Энергетические условия процесса кристаллизации

При переходе из жидкого состояния в твердое образуется

кристаллическая решетка, возникают кристаллы, и этот процесс назван кристаллизацией.

Чем объясняется существование при одних температурах жидкого, а при других температурах твердого состояния и почему превращение происходит при строго определенных температурах?

В природе все самопроизвольно протекающие превращения, а следовательно кристаллизация и плавление, вызываются тем, что новое состояние в новых условиях является более устойчивым, обладает меньшим запасом энергии.

Поясним примерами.

Тяжелый шарик из положения 1 стремится попасть в более устойчивое положение 2 (рис.9.1), так как потенциальная энергия в положении 2 меньше, чем в положении 1.

Энергетическое состояние системы, имеющей огромное число охваченных тепловым движением частиц (атомов, молекул), характеризуется особой термодинамической функцией F , называемой свободной энергией.

Рисунок 9.2 - Изменение свободной энергии жидкого и кристаллического состояния в зависимости от

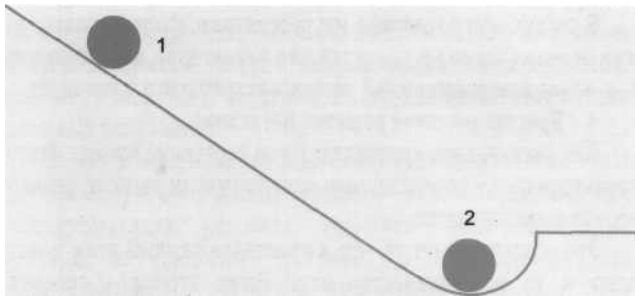


Рисунок 9.1

Можно сказать, что чем больше свободная энергия системы, тем система менее устойчива, и если имеется возможность, то система переходит в состояние, где свободная энергия меньше ("подобно" шарик, который скатывается из положения 1 в положение 2, если на пути нет препятствия)

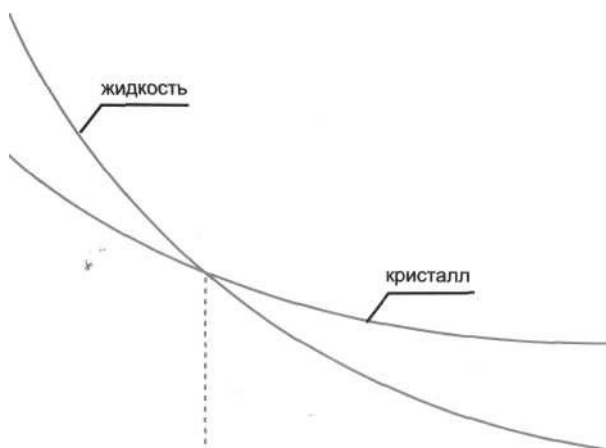
С изменением внешних условий, например температуры, свободная энергия системы изменяется по сложному закону, но различно для жидкого и кристаллического состояний. Схематически характер изменения свободной энергии жидкого и твердого состояний с температурой показан на рис. 9.2.

Выше температуры T_s меньшей свободной энергией обладает вещество в жидком состоянии, ниже T_s - вещество в твердом состоянии. Следовательно, выше T_s вещество должно находиться в жидком состоянии, а ниже T_s - в твердом, кристаллическом.

Очевидно, что при температуре, равной T_s , свободные энергии жидкого и твердого состояний равны, металл в обоих состояниях находится в равновесии. Эта температура T_s и есть равновесная или теоретическая температура кристаллизации.

Однако если охлаждать жидкость, то при T_s не может происходить процесс кристаллизации, так как при данной температуре

(9.2)



T (температура) -

Для начала кристаллизации необходимо, чтобы этот процесс был термодинамически выгоден системе и сопровождался уменьшением свободной энергии системы. Из кривых, приведенных на рис 9.2, мы видим, что это возможно только тогда, когда жидкость будет охлаждена ниже точки T_s . Температура, при которой практически начинается кристаллизация, может быть названа фактической температурой кристаллизации.

Охлаждение жидкости ниже равновесной температуры кристаллизации называется переохлаждением. Те же причины обуславливают и то, что и обратное превращение из кристаллического состояния в жидкое может произойти только выше температуры T_s , это явление называется перенагреванием.

Величиной или степенью переохлаждения называют разность между теоретической и фактической температурами кристаллизации.

Если, например, теоретическая температура кристаллизации сурьмы равна 631°C , а до начала процесса кристаллизации жидкая сурьма была переохлаждена до 590°C и при этой температуре закристаллизовалась, то степень переохлаждения ΔT определяется разностью $631 - 590 = 41^{\circ}\text{C}$.

Процесс перехода металла из жидкого состояния в кристаллическое можно изобразить кривыми в координатах время - температура (рис. 9.3).

температуры и может быть названо простым охлаждением, так как при этом нет качественного изменения состояния.

При достижении температуры кристаллизации на кривой температура-время появляется горизонтальная площадка, так как отвод тепла компенсируется выделяющейся при кристаллизации скрытой теплотой кристаллизации. По окончании

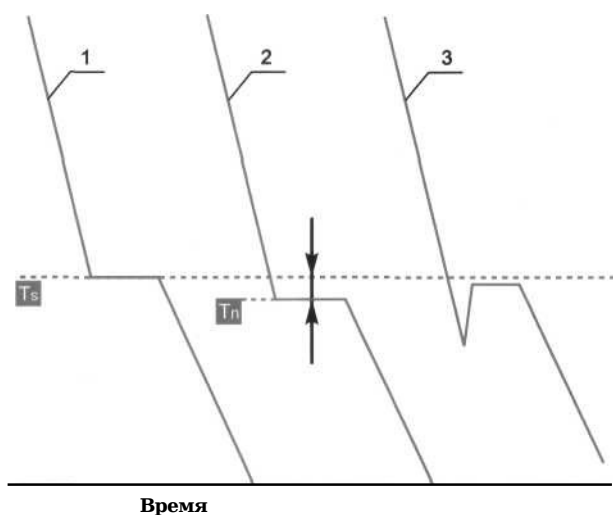


Рисунок 9.3 - Кривые охлаждения при кристаллизации

Охлаждение металла в жидком состоянии сопровождается плавным понижением

кристаллизации, т.е. после полного перехода в твердое состояние, температура опять начинает снижаться и твердое кристаллическое вещество охлаждается. Теоретически процесс кристаллизации изображается кривой 1, кривая 2 показывает реальный процесс кристаллизации. Жидкость непрерывно охлаждается до температуры переохлаждения T_p , лежащей ниже теоретической температуры кристаллизации T_s . При охлаждении ниже температуры T_s создаются энергетические условия, необходимые для процесса кристаллизации.

У некоторых металлов из-за большого переохлаждения скрытая теплота плавления выделяется в первый момент кристаллизации настолько бурно, что температура скачкообразно повышается и приближается к теоретической кривой 3; так кристаллизуется, например, сурьма. Для большинства же металлов величина переохлаждения при кристаллизации оказывается весьма незначительной и не улавливается в нормальных условиях эксперимента.

9.3 Механизм процесса кристаллизации

Процесс образования кристаллов путем зарождения центров кристаллизации и их роста можно изучать путем рассмотрения моделей (схем).

Рассмотрение подобных схем кристаллизации позволяет объяснить два важных момента:

1). По мере развития процесса кристаллизации в нем участвует все большее и большее число кристаллов. Поэтому процесс вначале ускоряется, пока в какой-то момент (обычно, когда закристаллизовалось около 50% жидкости) взаимное столкновение растущих кристаллов не начинает заметно препятствовать их росту, рост кристаллов замедляется, тем более что и жидкости, в которой образуются новые кристаллы, становится все меньше.

2). В процессе кристаллизации, пока кристалл окружен жидкостью, он часто имеет правильную форму, но при столкновении и срастании кристаллов их правильная форма нарушается, внешняя форма кристалла оказывается зависимой от условий соприкосновения растущих кристаллов. Вот почему кристаллы металла, зерно (кристаллиты) не имеют правильной формы.

Скорость процесса кристаллизации количественно определяется двумя величинами: скоростью зарождения центров кристаллизации и скоростью роста кристаллов. Обе эти величины могут быть измерены для разных условий кристаллизации.

9.4 Строение слитка

Структура литого слитка состоит из трех основных зон.

Первая зона - наружная мелкозернистая корка 1, состоящая из дезориентированных мелких кристаллов-дендритов. При первом соприкосновении со стенками изложницы в тонком прилегающем слое жидкого металла возникает резкий градиент температур и явление переохлаждения, ведущее к образованию большого количества центров кристаллизации. В результате корка получает мелкозернистое строение.

Вторая зона слитка - зона столбчатых кристаллов 2. После образования корки условия теплоотвода меняются (из-за теплового сопротивления самой корки, из-за повышения температуры стенки изложницы и других причин), градиент темпе-

ратур в прилегающем слое жидкого металла резко уменьшается и, следовательно, уменьшается степень переохлаждения стали. В результате из небольшого числа центров кристаллизации начинает расти нормально ориентированные к поверхности корки (т.е. в направлении отвода тепла) столбчатые кристаллы.

Третья зона слитка - зона равновесных кристаллов 3. В центре слитка уже нет определенной направленности отдачи тепла, "температура застывающего металла успевает почти совершенно уравниваться в различных точках и жидкость обращается как бы в кашеобразное состояние вследствие образования в различных ее точках зачатке* кристаллов. Далее зачатки разрастаются осями - ветвями по различным направлениям, встречаясь друг с другом". В результате этого процесса образуется равноосная структура. Зародышами кристалла здесь являются обычно различные мельчайшие включения в жидкой стали: или случайно в нее попавшие, или не растворившиеся в жидком металле (тугоплавкие составляющие).

Относительное распределение в объеме слитка зоны столбчатых и равноосных кристаллов имеет большое значение.

В зоне столбчатых кристаллов металл более плотный, он содержит меньше раковин и газовых пузырей. Однако места стыка столбчатых кристаллов обладают малой прочностью.

Жидкий металл имеет больший объем, чем закристаллизовавшийся, поэтому залитый в форму металл в процессе кристаллизации сокращается в объеме, что приводит к образованию пустот, называемых усадочными раковинами; усадочные раковины могут быть либо сконцентрированы в одном месте, либо рассеяны по всему объему слитка или по его части. Они могут быть заполнены газами, растворимыми в жидком металле, но выделяющимися при кристаллизации. В хорошо раскаленной отлитой в изложницы стали с утепленной надставкой усадочная раковина образуется в верхней части слитка, и в объеме всего слитка содержится малое количество газовых пузырей и раковин. Сталь, недостаточно раскисленная, так называемая кипящая сталь, содержит раковины и пузыри во всем объеме.

Спокойную сталь, т.е. раскисленную марганцем, кремнием и алюминием, с концентрированной усадочной раковиной следует признать лучше стали кипящей, раскисленной только марганцем. Однако и кипящие стали имеют применение, так как они дешевле, производство их дает меньше отходов. В спокойном металле в отходы идет верхняя и нижняя части слитка стали, а раковины и пустоты, равномерно распределенные по всему объему слитка кипящего металла, при прокатке завариваются.

9.5 Превращение в твердом состоянии. Аллотропия Атомы данного элемента могут образовывать, если исходить только из геометрических соображений, любую кристаллическую решетку. Однако устойчивым, а следовательно, реально существующим типом является решетка, обладающая наиболее низким запасом свободной энергии.

Однако в ряде случаев при изменении температуры или давления может оказаться, что для того же металла более

устойчивой будет другая решетка, чем та, которая была при другой температуре или давлении. Так, например, существует железо с решетками объемноцентрированного и гранецентрированного кубов; обнаружен кобальт с гранецентрированной и с гексагональной решетками. В различных решетках кристаллизуется также олово, марганец, титан и некоторые другие металлы.

Существование одного металла (вещества) в нескольких кристаллических формах носит название полиморфизма, или аллотропии. Различные кристаллические формы одного вещества называются полиморфными, или аллотропическими модификациями.

Небольшие изменения давления, которые могут возникнуть в практике, обычно не ведут к полиморфным превращениям. Поэтому для практического металловедения важна главным образом температурная аллотропия.

Аллотропия железа. Ниже 911°C железо существует в форме б: при 911°C объемноцентрированная решетка Fe_δ переходит в гранецентрированную решетку Fe^γ которая при температуре 1392°C вновь превращается в объемноцентрированную б-решетку (рис. 9.4). Высокотемпературная б-модификация обозначается иногда буквой г.

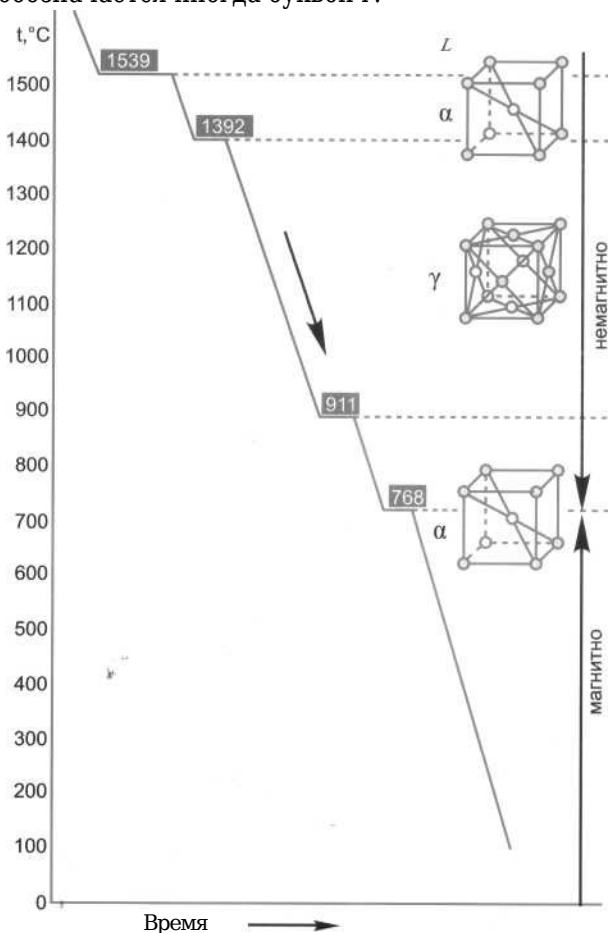


Рисунок 9.4 - Кривая охлаждения железа

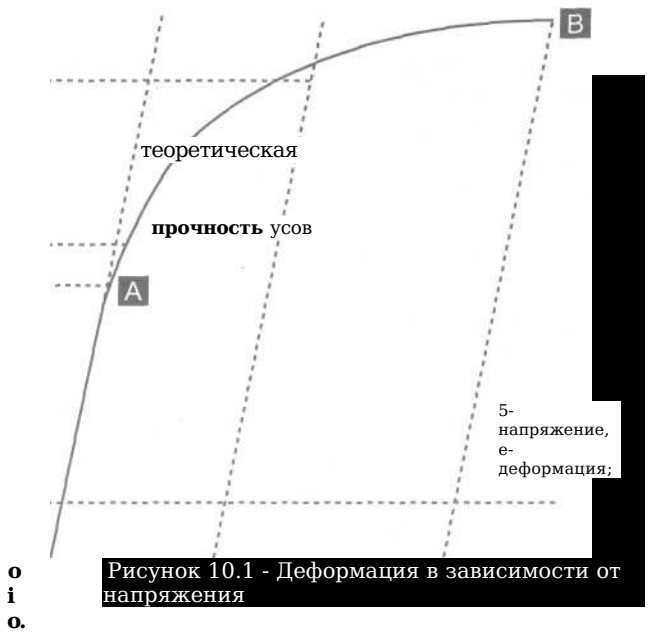
9.6 Магнитные превращения

Некоторые металлы (Fe, Co, Ni) отличаются специфическими магнитными свойствами, например способностью хорошо намагничиваться. Эти свойства называются ферромагнитными. Однако при нагреве ферромагнитные свойства металла постепенно теряются. П.Кюри показал, что полная потеря ферромагнитных свойств получается при определенной температуре, названной в дальнейшем точкой Кюри.

Магнитное превращение имеет ряд особенностей, отличающих его аллотропического превращения.

Во-первых, магнитные свойства постепенно падают по мере приближения к точке превращения, и эта точка не отвечает скачкообразному изменению свойств. Во-вторых, магнитное превращение не имеет температурного гистерезиса. Увеличение скорости охлаждения не снижает температуры превращения. В-третьих, механические и некоторые физические свойства при превращении не изменяются (изменяются многие электрические магнитные и тепловые свойства). Наконец, в-четвертых, самое важное: магнитное превращение не сопровождается перекристаллизацией - образованием новых зерен и изменением решетки.

Согласно современным представлениям, при магнитных превращениях происходит изменение не в кристаллической структуре металла, а во взаимодействии внешних электронных оболочек атомов.



10. УПРУГАЯ И ПЛАСТИЧЕСКАЯ ДЕФОРМАЦИЯ

При упругом деформировании снятие нагрузки устраняет причину, вызвавшую изменение межатомного состояния. Атомы возвращаются на прежние места.

При пластическом деформировании одна часть кристалла перемещается (сдвигается) по отношению к другой и при снятии нагрузки перемещенная часть кристалла не вернется на старое место. Дробление блоков и зерен, изменение формы зерен и их расположение в пространстве.

Тангенс угла наклона прямой ОА пропорционален модулю упругости (Е) и равен:

$\sigma = 5/\epsilon$,
 вызывающее остаточную деформацию, равную 0,2 от длины или другого размера образца.
 σ_B - соответствует моменту разрушения.
 модуль упругости;
 8
 -
 напряжения;
 ϵ
 -
 деформация.
 σ_{02} - предел текучести - напряжение,



Плотность
дислокаций и
других
искажений

Рисунок
10.3 -
Сопротивление
кристаллической
решетки
сдвигу
и отрыву в
зависимости от
плотности
дислокаций и от
степени
других
искажений
решетки

Относительное уречение (относительное сужение) - характеризует пластичность металла.

Площадь под кривой ОАВ пропорциональна работе, которую надо затратить, чтобы разрушить металл. Характеризует вязкость металла.

Реальная прочность металлов падает с увеличением числа дислокации только вначале.

Блокирование дислокаций - наклеп, измельчение зерна, термообработка, легирование, упрочняющие фазы.

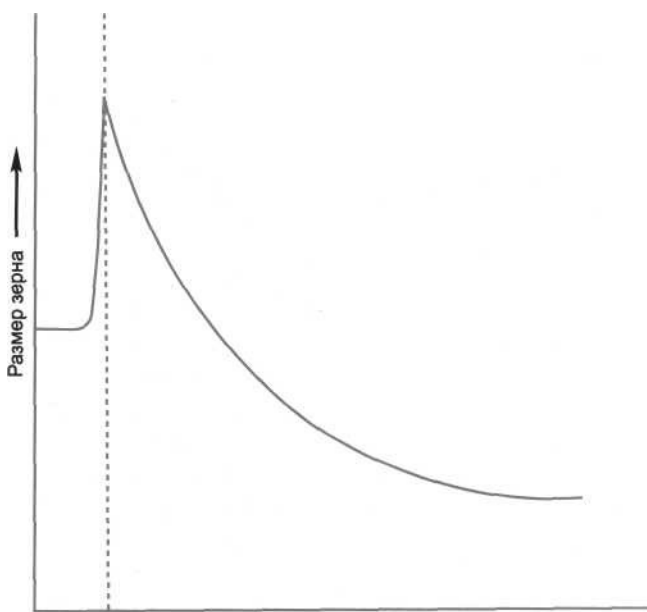
Хрупкое разрушение, вязкое состояние

Первичная рекристаллизация - это когда вытянутые вследствие пластической деформации зерна превращаются в мелкие, округлой формы, беспорядочно ориентированные зерна.

- Вторичная, или собирательная рекристаллизация - заключается в росте зерен и протекает при более высокой температуре.

При какой-то, называемой критической степенью деформации, зерно растет очень быстро, большая же деформация уменьшает склонность сплава к росту зерна.

При докритической деформации образуются лишь фрагменты внутри старых зерен, зерна



практически не растут; при критической - объединяется несколько старых зерен в одно крупное зерно и при закритической - возникают новые зерна.

Степень деформации

Рисунок 9.4 - Размер зерна после рекристаллизации в зависимости от степени

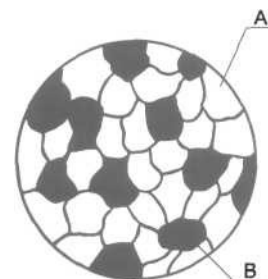
Под сплавом подразумевается вещество, полученное сплавлением двух или более элементов. Возможны и другие способы приготовления сплавов - спекание, электролиз, возгонка.

Сплав, изготовленный преимущественно из металлических элементов и обладающий металлическими свойствами называется металлическим сплавом.

В твердом состоянии может не быть химического взаимодействия между компонентами - простыми веществами, образовавший сплав - это механическая смесь отдельных частиц.

Составляющие сплав вещества могут вступать в химическое взаимодействие, образуя химические соединения, или взаимно растворяться друг в друге, образуя растворы.

1) Механическая смесь компонентов А и В образуется тогда, когда они не способны к взаимному растворению в твердом состоянии и не вступают в химическую реакцию с образованием соединения.



2) Химическое соединение. При образовании химического соединения: а) соотношение чисел атомов элементов соответствует стехиометрической пропорции, что может быть выражено простой формулой (A_nB_m); б) образуется специфическая (отличная от составляющих соединение химических элементов) кристаллическая решетка с упорядоченным расположением в ней компонентов. Если химическое соединение образуется только металлическими элементами, то в узлах решеток располагаются положительно заряженные ионы, удерживаемые электронным газом, то есть металлическая связь, состав меняется, связь не валентная. При образовании химического соединения металла с неметаллом имеет место ионная связь: металл - положительный ион, а атом металлоида принимает электроны на свою внешнюю оболочку и становится отрицательным ионом; состав постоянный, связь валентная, химический состав постоянный.

3) Твердый раствор. В жидком состоянии большинство сплавов представляют однородные жидкости. Твердая фаза образующаяся в результате кристаллизации сплава называется твердым раствором.

Твердый раствор является однофазным, состоит из одного вида кристаллов, имеет одну кристаллическую решетку (в отличие от механической смеси), твердый раствор

существует не при строго определенном соотношении компонентов, а в интервале концентраций (в отличие от химического соединения).

При образовании твердого раствора сохраняется решетка одного из элементов и этот элемент называется растворителем.

Твердые растворы замещения могут быть ограниченные и неограниченные. При неограниченной растворимости любое количество атомов А может быть замещено атомами В. Полный плавный переход от металла А к металлу В (если оба металла имеют одинаковую кристаллическую структуру) возможен, если оба компонента являются изоморфными - первое условие

образования неограниченного ряда твердых растворов.

Второе условие - достаточно малое различие атомных размеров компонентов.

Третье условие - элементы должны быть близко расположены друг от друга в периодической таблице, то есть близких друг к другу по строению валентной оболочки атомов, по физической природе.

Твердый раствор на базе химического соединения, образование которого сопровождается появлением пустых мест в узлах решетки, называется раствором вычитания.

Упорядоченные твердые растворы - атомы растворенного элемента расположены упорядочено. Этот процесс диффузионный (CuAu). Упорядоченные твердые растворы являются промежуточными фазами между химическими соединениями и твердыми растворами.

11.1 Диаграмма состояния.

11.1.1 Правило фаз.

Диаграмма состояния представляет собой графическое изображение состояния сплава.

Диаграмма состояния показывает устойчивые состояния (с минимумом свободной энергии). Поэтому диаграмма состояния может называться диаграммой равновесия.

Общие закономерности сосуществования устойчивых фаз, отвечающих теоретическим условиям равновесия, могут быть выражены в математической форме, именуемой правилом фаз.

Правило фаз дает количественную зависимость между степенью свободы системы и количеством фаз и компонентов.

Фазой называется однородная часть системы, отделенная от других частей системы (фаз) поверхностью раздела, при переходе через которую химический состав или структура вещества изменяется скачком.

Компонентами называются вещества, образующие систему.

Под числом степеней свободы (вариантностью) системы понимается число внешних и внутренних факторов (температура, давление, концентрация), которые можно изменять без изменения числа фаз в системе.

$$c = k - f + 2, \quad (11.1)$$

где c - число степеней свободы;
 k - число компонентов; f -
число фаз.

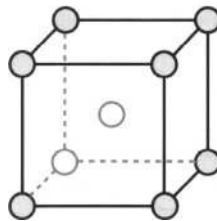
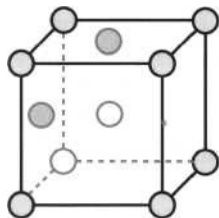


Рисунок 10.1 -
Твердые растворы

Рисунок 10.2 -
Твердые растворы



Независимыми переменными в уравнении правила фаз является концентрация, температура и давление. Если считать, что давление при всех превращениях постоянно, то число переменных уменьшается на единицу и уравнение примет следующий вид:

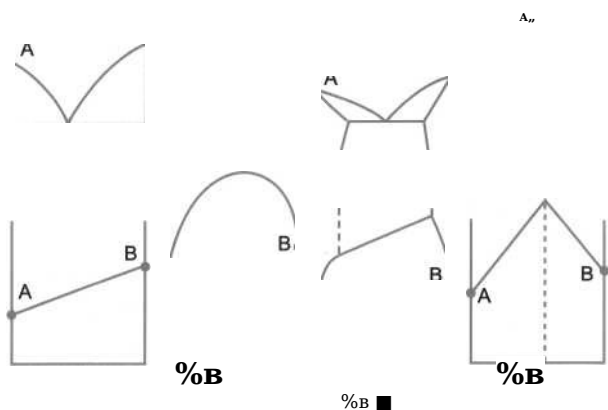
$$c - k + f + 1, \quad (11.2)$$

где c - число степеней свободы; k - число компонентов; f - число фаз.

11.1.2 Связь между свойствами сплавов и типом диаграммы состояния.

Вид диаграммы зависит от того, какие фазы образуют два компонента. Свойства сплава также зависят от того, какие соединения или фазы образовали компоненты сплава.

Рассмотрим четыре основных типа диаграмм состояний и соответствующие им закономерности изменения свойств сплава с изменением концентрации.



При образовании смесей свойства сплава изменяются по линейному закону. Следовательно, значения свойств сплава находятся в интервале между свойствами чистых компонентов.

При образовании твердых растворов свойства сплава изменяются по криволинейной зависимости, причем некоторые свойства, в первую очередь электрическое сопротивление, могут значительно отличаться от свойств компонентов. Поэтому распад твердого раствора на две (или более) фазы ведет к повышению электропроводности.

При образовании ограниченного твердого раствора в интервале концентрации, отвечающем однофазным твердым растворам, изменяются по криволинейному закону, причем крайние точки на прямой являются свойствами чистых фаз предельно насыщенных твердых растворов, образующих данную смесь.

При образовании химсоединения на

диаграмме концентрация химического соединения отвечает максимуму (или минимуму) на кривой (в данном случае перелом прямой). Эта точка перелома, соответствующая химическому соединению, называется сингулярной (особой) точкой.

Основной продукцией черной металлургии является сталь, причем приблизительно 90% изготавливается углеродистой стали и 10% легированной.

Углеродистая сталь промышленного производства - сложный по химическому составу сплав. Кроме основы - Fe (процентное содержание железа колеблется в пределах 97-99,5%) - в ней имеется множество элементов, наличие которых обусловлено либо технологическими особенностями производства (Mn, Si), либо невозможностью полного удаления их из металла (S, P, O, N, H), либо случайными причинами (Cr, Ni, Cu), и только один элемент, а именно углерод, (C) вводится в простую сталь умышленно.

Структуру и свойства металлических сплавов можно в широких пределах изменять путем термообработки. Однако не все свойства изменяются при термической обработке. Одни (структурно чувствительные свойства) зависят от структуры металла и, следовательно, изменяются при термической обработке, другие (структурно нечувствительные свойства) зависят от состава и практически не зависят от структуры (модуль упругости, модуль сдвига).

12.1 Влияние углерода

Если в стали содержится 0,8% углерода (далее C), то сталь состоит из перлита, если более 0,8% C - из перлита и вторичного цементита, если же содержание C в стали менее 0,8 - из феррита и перлита.

Увеличение содержания C ведет к повышению прочности и понижению пластичности (твердость и предел прочности - их зависимость)

Плотность металла с увеличением содержания C уменьшается, также как и магнитное насыщение, магнитная индукция, а удельное электросопротивление возрастает.

12.2 Влияние примесей

Постоянные примеси - Mn, Si, P, S а также H_2 , N_2O_2 - в том или ином количестве постоянно присутствуют в технических сортах стали.

Процентное их содержание обычно не превышает: для Mn - 0,8; Si - 0,5; P - 0,05; S - 0,05.

Mn вводится для раскисления (устранение вредных включений закиси железа):

(10.1)

Mn повышает в горяче-кованных изделиях

прочность, изменяет некоторые свойства. Si также раскисляет сталь по реакции:

(10.2)

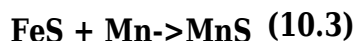
Нерастворимая часть Si может остаться в металле в виде включений.

P содержится в рудах и отходах металлов, ферросплавах. В процессе производства удаляется в той или иной степени. Обычное содержание в стали - 0,02-0,04%. Растворяясь в фер-

рите Р резко снижает его пластичность, повышает температуру перехода в хрупкое состояние и, как следствие, вызывает хладноломкость стали. Это особенно сильно сказывается при содержании $P > 0,1\%$.

S - попадает из руд, ее содержание в стали 0,02-0,03%. Сера (S) не растворима в железе (Fe) и любое ее количество образует сульфид железа (FeS), который входит в состав эвтектики, образующейся при 988°C. Поэтому содержание S более 0,05% может привести к красноточности (т.е. в районе температуры красного каления). Такая сталь не поддается горячей обработке давлением.

Введение Mn в сталь ослабляет вредное влияние S:



Сульфид марганца (MnS) плавится при 1620°C, т.е. при температурах значительно более высоких, чем температура горячей обработки. При температурах горячей обработки (800-1200°C) MnS пластичен и под действием внешних сил вытягивается в продолговатые линзы.

Газы - H_2 , N_2 , O_2 - содержатся в небольших количествах, сильно зависящих от способа производства. Содержание этих элементов определяют, расплавляя в вакууме пробу металла и измеряя количество газов, выделяющихся из жидкого металла.

H_2 , N_2 , O_2 могут присутствовать в твердых сталях в следующих формах:

- находиться в различных несплошностях;
- находиться в α -твердом растворе;
- образовывать различные соединения

(неметаллические включения).

(время).

13.2 Классификация видов термообработки.

Изменение свойств сплава, которое создается термообработкой, должно быть остаточным, иначе в термообработке не было бы никакого смысла. Чтобы вызвать изменение свойств сплава, необходимо, чтобы в сплаве при нагреве, выдержке или охлаждении произошли остающиеся изменения, обусловленные фазовыми превращениями.

Все виды термообработки можно разделить на четыре ос-

13

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

13.1 Температура и время.

Цель любого процесса термообработки состоит в том, чтобы нагревом до определенной температуры и последующим охлаждением вызвать желаемое изменение строения металла. Основные факторы воздействия при термообработке - температура и время и поэтому режим термообработки можно представить графиком в координатах $t^\circ\text{C}$, ч

новные группы:

1. Предшествующая обработка может привести металл в неустойчивое состояние (наклеп из-за холодной пластической деформации, быстрое охлаждение или неравномерное приложение напряжений). Термообработка, заключающаяся в нагреве металла, который в результате какой-то предшествующей обработки получил неустойчивое состояние, и приводящая его в более устойчивое состояние, называется отжигом.

2. Если в сплавах при нагреве происходит фазовое превращение, то нагрев выше некоторой критической температуры вызывает изменение строения сплава. При последующем охлаждении произойдет обратное превращение. Нагрев выше температуры фазового превращения и охлаждение с малой скоростью, приводящий сплав к структурному равновесию, называется также отжигом (отжигом II рода) или фазовой перекристаллизацией.

3. Если в сплаве при нагреве происходят фазовые изменения, то полнота обратного (при охлаждении) превращения зависит от скорости охлаждения. Теоретически можно себе представить такие условия охлаждения, при которых обратное превращение вовсе не произойдет, и при комнатной температуре в результате быстрого охлаждения зафиксировать состояние сплава, характерное для высоких температур. Это будет закалка (истинная закалка). Закалка же в широком смысле, когда фиксируется не состояние сплава при высокой температуре, а некоторая стадия структурного превращения, при которой в сплаве не достигнуто еще равновесное состояние. (Разница между второй и третьей группой термообработки).

4. Состояние закаленного сплава характеризуется неустойчивостью. Даже без всякого температурного воздействия в сплаве могут происходить процессы, приближающие его к равновесию. Нагрев сплава, увеличивающий

подвижность

атомов и приводящий сплав к равновесному состоянию, называют отпуском (т.е. нагрев сплава ниже температуры равновесных фазовых превращений). Отпуск, если он происходит при комнатной температуре, называют старением.

И при отжиге I рода и при отпуске сплав приближается к структурному равновесию. В обоих случаях начальную стадию характеризует неустойчивое состояние, только для отжига I рода оно было результатом предшествующей обработки, при которой не было фазовых превращений, а для отпуска - результатом предшествующей закалки, т.е. четвертая группа - вторичная операция отпуск.

Таким образом, можно сформулировать краткие определения видов термообработки:

Отжиг I рода - термооперация, состоящая в нагреве металла, имеющего неустойчивое состояние в результате предшествующей обработки, и приводящая металл в более устойчивое состояние.

Отжиг II рода - термооперация, состоящая из нагрева выше температуры превращения с последующим достаточно

меренным охлаждением для получения структурно устойчивого состояния сплава.

Закалка - термооперация, состоящая в нагреве выше температуры превращения с последующим достаточно быстрым охлаждением для получения структурно неустойчивого состояния сплава.

Отпуск - термооперация, состоящая в нагреве закаленного сплава ниже температуры превращения для получения структурно более устойчивого состояния сплава.

Другие виды термообработки (принципиально-отличные), которые сочетают термическую обработку с металлургией или механической обработкой, химико-термическая (ХТО)- азотирование, борирование, дермо-механическая (ТМО)

ХТО - нагрев сплава в соответствующих химических реагентах для изменения состава и структуры поверхностного слоя.

ТМО - деформация и последующая термическая обработка, сохраняющая в той или иной степени результаты наклепа.

Отжиг выше температуры A_{C3} - полная перекристаллизация (полный отжиг); между A_{C1} и A_{C3} - неполный отжиг.

14.1 Образование аустенита (первое основное превращение)

Превращение перлита в аустенит в полном соответствии с диаграммой состояния Fe-C может совершиться лишь при очень меренном нагреве. При обычных условиях нагрева превращение запаздывает и получается перенагрев.

Перенагретый выше критической точки перлит с различной скоростью в зависимости от степени перенагрева превращается в аустенит.

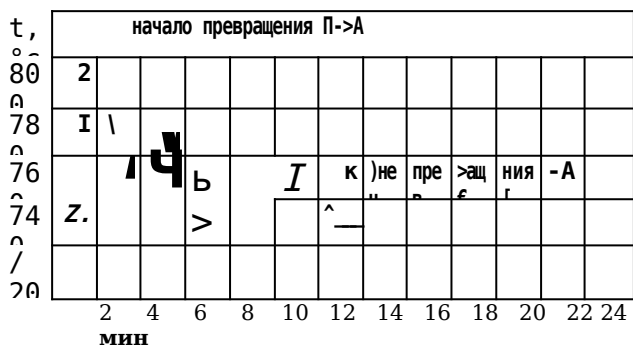
На рис. 13.1 приведены данные, показывающие время превращения перлита в аустенит при разных температурах (в зависимости от степени перенагрева). Расположение кривых показывает, что чем выше температура, тем быстрее, т. е. за меньший отрезок времени, идет превращение.

Например, при быстром нагреве и выдержке при 780°C превращение перлит $\rightarrow$ аустенит завершится за 2 мин, а при 740°C - за 8 мин.

Диаграмма рис. 13.1 дана в координатах температура - время, поэтому на нее можно нанести кривые нагрева¹.

Луч V_2 показывает нагрев стали с какой-то определенной скоростью. Он пересекает линии начала и конца превращения в точках a^{11} и b^{11} . Следовательно, при непрерывном нагреве со скоростью V_2 мы зафиксируем превращение, протекающее в

¹ Было доказано, что наложение кривых нагрева или охлаждения на диаграмму, показывающую превращения при постоянной температуре, не дает количественно правильных значений, но качественные закономерности процессов подтверждаются. Поэтому мы в дальнейшем будем широко пользоваться этим методом.



нок 14.1 - Превращений перлита в аустенит при постоянной температуре (сталь с 0,86% С)

интервале температур от точки а" до точки Б¹¹.

Если нагрев был более мерным, то луч V, пересекает кривые превращения при более низких температурах (точки а¹ и Б¹), и превращение произойдет тоже при более низких температурах².

Кривые начала и конца превращения, асимптотически приближаясь к горизонтали k_r пересекут ее в бесконечности. Нагрев с бесконечно малой скоростью пересечет горизонталь А, в бесконечности, где сливаются кривые начала и конца превращения и где превращение перлита в аустенит произойдет в одной "точке", т. е. при постоянной температуре. Это, очевидно, и будет случай равновесного превращения - по диаграмме Fe - С. Реальные превращения, в отличие от равновесных, протекают при температуре выше A_1 и не при одной температуре, а в интервале температур, лежащем тем выше, чем быстрее мы нагреваем сталь.

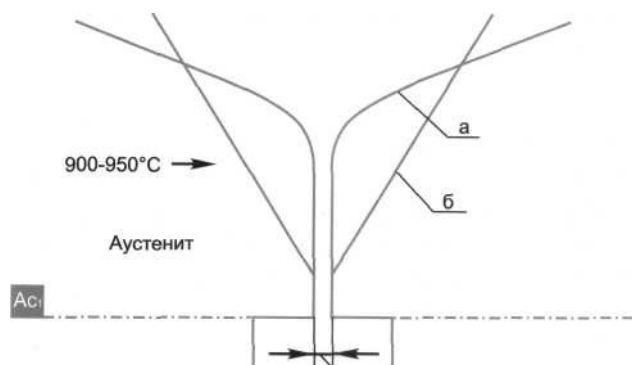
Окончание процесса превращения характеризуется образованием аустенита и исчезновением перлита (феррит + цементит). Однако этот вновь образовавшийся аустенит даже в объеме одного зерна неоднороден. В тех местах, где ранее были пластинки (или зерна) перлитного цементита, содержание углерода больше, чем в тех местах, где залегали пластинки феррита. Поэтому только что образовавшийся аустенит неоднороден.

Для получения однородного по составу (гомогенного) аустенита при нагреве требуется не только перейти через точку окончания перлитно-аустенитного превращения, но перегреть сталь выше этой точки, или дать выдержку для завершения диффузионных процессов внутри аустенитного зерна.

Скорость описанных реакций в значительной степени зависит от исходной структуры стали - от степени дисперсности цементита и от его формы. Чем мельче частицы цементита и, следовательно, больше их суммарная поверхность, тем быстрее происходят описанные превращения.

14.2 Рост аустенитного зерна

Начало перлитно-аустенитного превращения сопровождается-



ся образованием первых зерен аустенита. Первые зерна аустенита образуются на границе между ферритом и цементитом - структурными составляющими перлита. Так как эта граница весьма разветвлена (в 1 см³ перлита площадь границы между ферритом и цементитом составляет несколько квадратных метров), то превращение начинается с образования множества мелких зерен. Следовательно, по окончании превращения перлита в аустенит образуется большое количество малых аустенитных зерен. Размер этих зерен характеризует так называемую величину начального зерна аустенита.

Дальнейший нагрев (или выдержка) по

окончании превращения вызывает рост аустенитных зерен. Рост зерна - самопроизвольно протекающий процесс, так как при этом уменьшается суммарная поверхность зерен (уменьшается поверхностная энергия), высокая температура обеспечивает лишь достаточную его скорость.

Различают два типа сталей: наследственно мелкозернистую и наследственно крупнозернистую; первая характеризуется малой склонностью к росту зерна, вторая - повышенной склонностью.

Изменение размеров зерна при нагреве двух принципиально различных по кинетике роста зерна сталей показано на рисунке 14.2.

Начальное зерно

Перлит

Размер исходного зерна

Рисунок 14.2 - Схема роста зерна (а) в наследственно крупнозернистой и

² Показано, что вне зависимости от скорости нагрева превращение наступает сразу после перехода через равновесную критическую точку A_c ; интервал между точками a' и b' или a'' и b'' при нагревании со скоростью V_1 или V_2 показывает не начала и конец превращения, а интервал температур, когда основная масса перлита переходит в аустенит.

Переход через критическую точку $A_{с1}$ сопровождается резким уменьшением зерна. При дальнейшем нагреве зерно аустенита в мелкозернистой стали не растет до $950-1000^{\circ}\text{C}$, после чего устраняются факторы, препятствующие росту, и зерно начинает быстро расти. У крупнозернистой стали ничто не препятствует росту зерна, который и начинается вскоре после перехода через критическую точку.

Под наследственной зернистостью поэтому надо подразумевать склонность аустенитного зерна к росту.

На рис. 14.2 показано, что при температурах немного более высоких, чем критическая точка ($A_{с1}$), зерно аустенита у наследственно крупнозернистой стали больше, чем у наследственно мелкозернистой, а при температурах значительно более высоких у наследственно мелкозернистой стали зерно может оказаться крупнее. Поэтому по размеру зерна в данном куске металла еще нельзя определять наследственную зернистость.

Размер зерна, полученный в стали в результате той или иной термической обработки, - это так называемое действительное зерно.

Таким образом, различают:

а - начальное зерно - размер зерна аустенита в момент окончания перлито-аустенитного превращения;

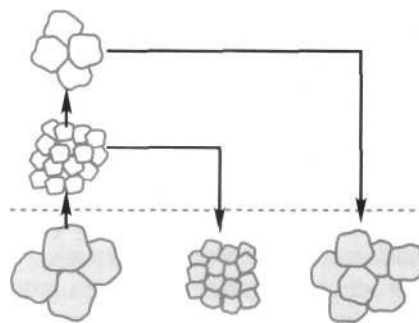
б - наследственное (природное) зерно - склонность аустенитных зерен к росту;

в - действительное зерно - размер зерна аустенита в данных конкретных условиях.

Влияние размера аустенитного зерна на свойства стали в перлитном или другом структурном состоянии заключается в следующем:

Размеры перлитных зерен зависят в первую очередь от размеров зерен аустенита, из которых они образовались. Чем крупнее зерна аустенита, тем, как правило, большего размера перлитные зерна, образующиеся из них. Поэтому свойства стали при перлитной или другой структуре зависят от размеров зерен аустенита, из которого эта структура образовалась.

Аустенитные зерна растут только при нагреве (при последующем охлаждении они не измельчаются), поэтому максимальная температура нагрева стали в аустенитном состоянии и ее наследственная зернистость определяют окончательный размер зерна (рис. 14.3).



Зависит ли склонность к росту зерна (наследственная зернистость) от состава стали? Безусловно, зависит. Заэвтектоидная сталь, как правило, менее чувствительна к росту зерна при повышении температуры, чем эвтектоидная. Многие легирующие элементы, вводимые в сталь (ванадий, титан, вольфрам, молибден и др.), уменьшают склонность зерна аустенита к росту. Однако установлено, что даже разные плавки стали одной и той же марки обладают разной способностью к росту зерна, т. е. имеют разную наследственную зернистость. Здесь имеет значение способ производства стали - метод ее раскисления.

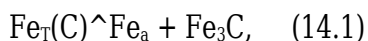
Сталь, раскисленная только ферромарганцем (кипящая сталь) или ферромарганцем и ферросилицием, - наследственно крупнозернистая сталь, а сталь, дополнительно раскисленная алюминием, - мелкозернистая.

Наиболее достоверное объяснение природы мелкозернистости дает так называемая теория барьеров. Алюминий, введенный в жидкую сталь незадолго до ее разлива по изложницам, образует с растворенным в жидкой стали азотом частицы нитридов (AlN). Это соединение растворяется в жидкой стали, а после ее кристаллизации и последующего охлаждения выделяется в виде мельчайших субмикроскопических частиц ("неметаллическая пыль"). Последние, располагаясь преимущественно по границам зерна, препятствуют его росту. Начиная с определенной температуры, даже у мелкозернистых сталей наблюдается интенсивный рост зерна (см. рис. 13.3). Как показали исследования, при достаточно высоких температурах происходит растворение нитридов алюминия в поверхностных слоях аустенитного зерна. При этом устраняются барьеры, препятствующие росту зерна аустенита, и зерно начинает расти.

14.3 Распад аустенита.

(второе основное превращение)

Превращение аустенита в перлит заключается в распаде аустенита, твердого раствора углерода в α -железе, на почти чистое α -железо и цементит:



При температуре равновесия A_1 превращение аустенита в перлит невозможно, так как при этой температуре свободные энергии исходного аустенита и конечного перлита равны.

Превращение может начаться лишь при некотором переохлаждении, когда свободная энергия феррито-карбидной смеси (перлита) окажется меньшей, чем свободная энергия аустенита.

Чем ниже температура превращения, тем больше переохлаждение, тем больше разность свободных энергий, тем быстрее происходит

превращение.

В случае перлитного превращения образуются фазы, резко отличные по составу от исходной: феррит, почти не содержащий углерода, и цементит, содержащий 6,67% C. Поэтому превращение аустенит $\rightarrow$ перлит сопровождается диффузией, перераспределением углерода. Скорость диффузии резко уменьшается с понижением температуры,

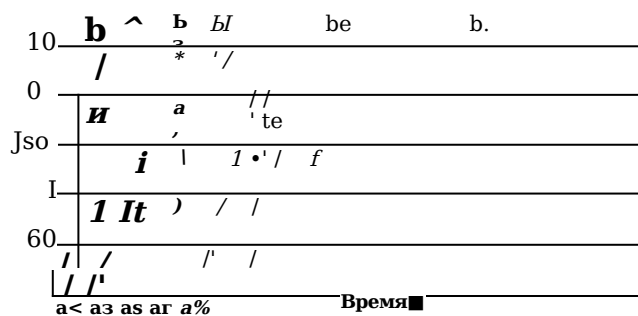


Рисунок 13.4 - Кинетические кривые превращения аустенита в перлит при разных температурах ($H > t_2 > t_3$)

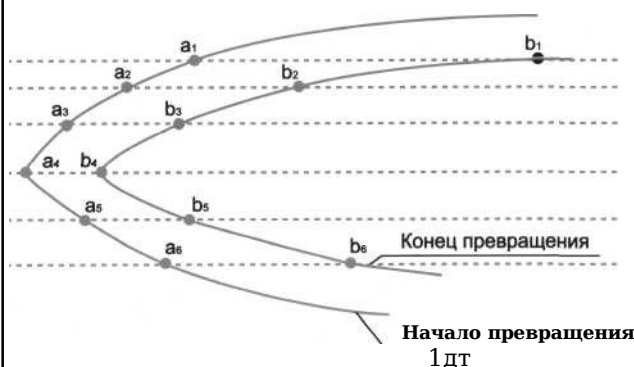


Рисунок 13.5 - Диаграмма изотермического превращения аустенита. Построена по кривым изотермического превращения, изображенным на рис. 12.4

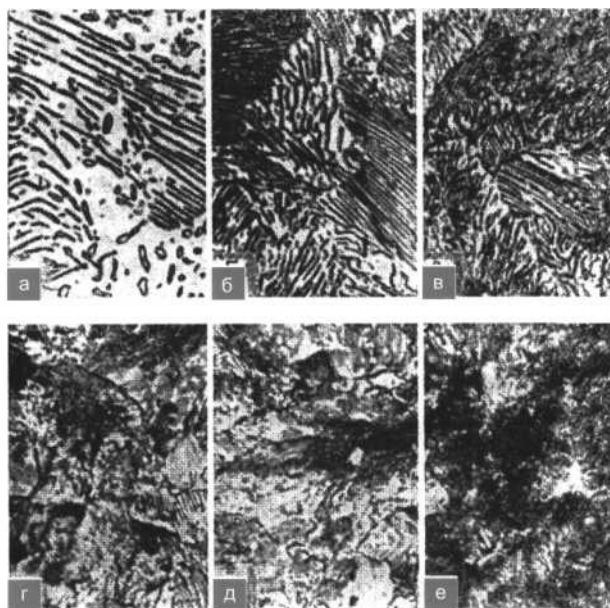


Рисунок 14.5 - Структура эвтектоидной стали в зависимости от температуры распада аустенита

следовательно, с этой точки зрения увеличение переохлаждения должно замерять превращения.

При 727°C (A_j) и ниже 200°C (d) скорость превращения равна нулю, так как при 727°C равна нулю разность свободных энергий, а при 200°C равна нулю (точнее, недостаточна) скорость диффузии углерода.

Процесс образования перлита в зависимости от степени переохлаждения можно представить и в другом виде. Если нанести на диаграмму отрезки кривых аустенито-перлитного превращения (см. рис. 14.4), соответствующие началу превращения (время "инкубационного периода") и концу превращения, т. е. точки a и b расположить по вертикали по мере снижения температуры, то получим диаграмму, приведенную на рис. 14.5.

Кривая начала превращения покажет в зависимости от степени переохлаждения время, когда превращения практически не наблюдается, т. е. когда мы имеем переохлажденный аустенит. Мерой его неустойчивости может служить отрезок от оси ординат до кривой начала превращения. При $500 - 600^{\circ}\text{C}$ (температура (t_4)) этот отрезок имеет минимальные размеры, т.е. аустенит начинает превращаться в перлит через наиболее короткий промежуток времени.

Вторая кривая показывает время, необходимое при данном переохлаждении для полного превращения аустенита в перлит. При $500 - 600^{\circ}\text{C}$ это время также минимально.

Следует указать, что по горизонтали шкала логарифмическая. Это сделано для удобства изображения, ибо слишком различны скорости образования перлита около критической точки и у изгиба кривой. В первом случае (ряд углеродистой стали) превращение заканчивается через несколько десятков минут (тысячи секунд), а во втором случае оно происходит за 1-2 сек.

Горизонтальная линия M показывает температуру начала бездиффузионного мартенситного превращения.

Свойства и строение продуктов превращения аустенита зависят от температуры, при которой происходил процесс его распада (рисунок 14.5).

При высоких температурах, т. е. при малых степенях переохлаждения, получается достаточно грубая (легко дифференцируемая под микроскопом) смесь феррита и цементита. Эта смесь называется перлитом (рис. 14.5, а, б, в).

При более низких температурах и, следовательно, при больших степенях переохлаждения дисперсность структур возрастает и твердость продуктов повышается. Такой более тонкого строения перлит получил название сорбита (рис. 14.5, г).

При еще более низкой температуре (что соответствует изгибу S -кривой) дисперсность продуктов возрастает, и дифференцировать под

микроскопом отдельные составляющие феррито-цементитной смеси становится почти невозможно. Такая структура называется троститом (рис.14.5, е).

При обычном микроисследовании структура тростита не дифференцируется (расстояние между пластинками меньше разрешающей способности оптического микроскопа) и представляется равномерно травящейся сплошной массой, но при наблюдении под электронным микроскопом пластинчатое строение тростита обнаруживается вполне четко (рис.14.6).

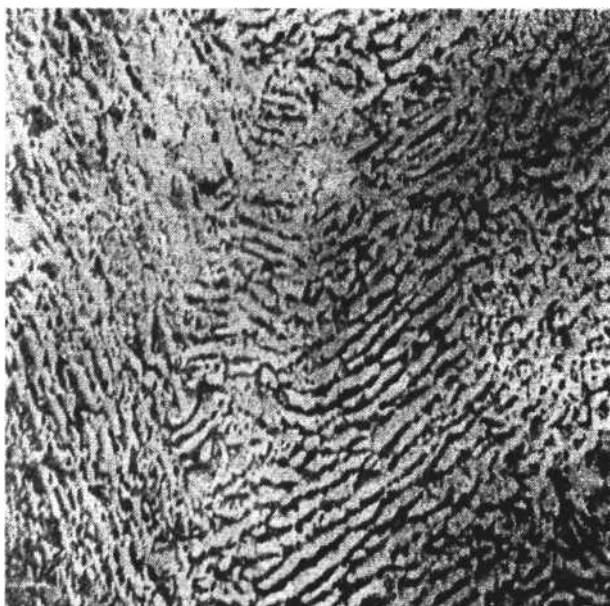


Рисунок 14.6 - Структура тростита (электронный микроскоп)

Таким образом, перлит, сорбит и тростит - структуры с одинаковой природой (феррит + цементит), отличающиеся степенью дисперсности феррита и цементита.

Перлитные структуры могут быть двух типов: зернистые (цементит в них находится в форме зернышек) или пластинчатые (в форме пластинок).

Однородный (гомогенный) аустенит всегда превращается в пластинчатый перлит. Следовательно, нагрев до высокой температуры, который создает условия для образования более однородной структуры, способствует появлению пластинчатых структур. Неоднородный аустенит при всех степенях переохлаждения дает зернистый перлит, следовательно, нагрев до невысокой температуры (для заэвтектоидной стали ниже $A_{с3}$) ведет к образованию при охлаждении зернистого перлита. Вероятно, оставшиеся нерастворенными в аустените частицы, являющиеся дополнительными центрами кристаллизации, способствуют образованию зернистого цементита.

Образующаяся ниже изгиба С-кривой игольчатая структура получила название бейнит. Иногда ее называют игольчатый тростит или продукты промежуточного превращения.

Следовательно, в зависимости от содержания углерода и степени переохлаждения мы имеем такие области превращения аустенита:

- I - превращение аустенит -> перлит;
- II - предварительное выделение феррита и затем превращение аустенит -> перлит;
- III - предварительное выделение

цементита и затем превращение аустенит -> перлит;

IV - превращение аустенит -> бейнит;

V - превращение аустенит -> мартенсит

и распад остаточного

аустенита с образованием бейнита;

VI - превращение аустенит -> мартенсит;

VII - переохлажденный аустенит

сохраняется без превра-

щения.

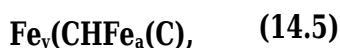
После рассмотрения процесса превращения аустенита при постоянной температуре и разных степенях переохлаждения можно перейти к рассмотрению процесса распада аустенита при непрерывном охлаждении, когда сталь, нагретая до аустенитного состояния, охлаждается с разной скоростью.

Диаграмма изотермического распада аустенита строится в координатах температура - время; в этих же координатах изображаются и кривые охлаждения.

Минимальная скорость охлаждения, необходимая для переохлаждения аустенита до мартенситного превращения, называется критической скоростью закали. Чтобы закалить сталь, ее следует охлаждать со скоростью не меньшей, чем критическая. Чем правее лежит кривая начала превращения, тем меньше величина V_k . Другими словами, чем медленнее происходит превращение аустенита в перлит, тем легче переохладить аустенит до температур мартенситного превращения и тем меньше критическая скорость закали.

14.4 Мартенситное превращение (третье основное превращение)

Если аустенит переохладить до таких температур, когда γ -решетка, несмотря на наличие растворенного в ней углерода, неустойчива, но скорость диффузии углерода вследствие низких температур так мала, что с ней можно не считаться, то происходит перестройка решетки без выделения углерода:



Это превращение по своему механизму и по природе продуктов превращения отлично от рассмотренного выше эвтектоидного распада аустенита.

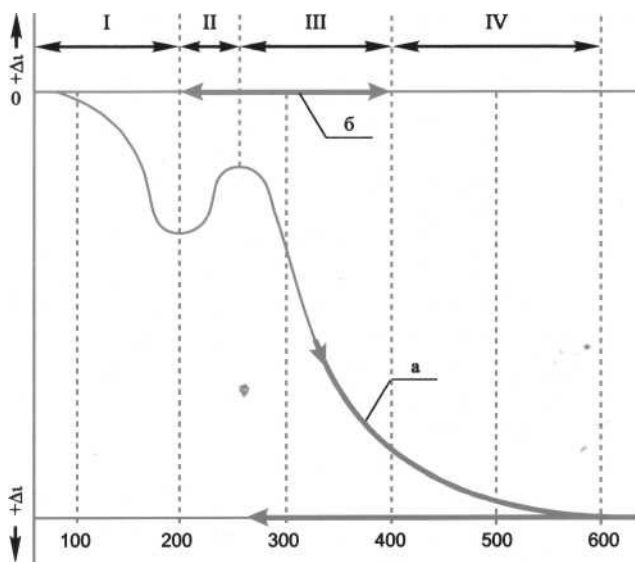


Рисунок 14.7 - Дилатометрическая кривая отпуска углеродистой стали (а - закаленная сталь, б -

В аустенито-перлитном превращении ведущую роль играет диффузия углерода, и превращение следует назвать диффузионным.

При аустенито-мартенситном превращении происходит только перестройка решетки без изменения концентрации реагирующих фаз. Превращение является бездиффузионным. Мартенсит есть твердый раствор углерода в б-железе с такой же концентрацией, как и у исходного аустенита.

Так как растворимость углерода в а-фазе равна всего лишь «0,01%, то мартенсит является пересыщенным твердым раствором.

Поскольку превращение является бездиффузионным, то углерод из раствора не выделяется и во время превращения происходит только перестройка атомов железа. Расположенные в аустените в виде гранецентрированного куба, они перестраиваются во время превращения в объемноцентрированную решетку.

Таким образом, две характерные особенности отличают мартенситное превращение от других фазовых превращений:

1) бездиффузионность (состав фаз - исходной (аустенита) и конечной (мартенсита), одинаков; при превращении происходит лишь перестройка решетки);

2) ориентированность (новая фаза - мартенсит закономер но ориентирована относительно старой - аустенита); сдвига вый характер превращения приводит к образованию на по верхности рельефа. Превращение, удовлетворяющее обоим этим условиям, относится к классу превращений, именуемому мартенситным.

13.5 Превращение при отпуске (четвертое основное превращение)

Изучение микроструктуры, атомно-кристаллической структуры, физических и механических свойств в отпущенном состоянии и изменение этих свойств в процессе отпуска позволили с необходимой достоверностью установить последовательность превращения при нагреве закаленной стали.

Исходной является структура закаленной стали, состоящая из тетрагонального мартенсита и аустенита. Мартенсит является структурой, обладающей наибольшим объемом, а аустенит - структурой с минимальным объемом, поэтому превращения должны совершаться с объемными изменениями. При превращении мартенсита объем будет уменьшаться (сжатие образца), а при превращении аустенита - увеличиваться (расширение образца). Дилатометрическая кривая (рис. 14.7) фиксирует превращения при отпуске³. Если нагревать в дилатометре отожженный образец,

то при отсутствии превращений прибор будет чертить горизонтальную линию б (дифференциальная схема прибора устраняет расширение, связанное с изменением температуры). Отклонение кривой а у закаленной стали от горизонтальной линии б свидетельствует о наличии каких-то превращений. На дилатометрической кривой рис. 14.7 видно, что до $t \sim 80^\circ\text{C}$ никаких превращений не происходит.

Начиная от 80 и вплоть до 200°C наблюдается сокращение длины.

Это будет так называемое первое превращение при отпуске. Рентгеновский анализ показал, что в этом районе температур постепенно уменьшается параметр с решетки мартенсита.

Соотношение параметров решетки (отношение c/a) стремится к единице.

Получающийся при таком низком отпуске мартенсит, у которого отношение c/a хотя и не равно, но близко к единице, называется отпущенным мартенситом. Следовательно, первое превращение есть превращение тетрагонального мартенсита в отпущенный, почти кубический.

Мы видели выше, что тетрагональность мартенсита обусловлена одной причиной - растворением углерода; поэтому уменьшение тетрагональности можно объяснить также единственной причиной - выделением углерода из раствора.

Высокоуглеродистой фазой, выделяющейся из раствора, являются чрезвычайно тонкие (толщиной в несколько атомных слоев) пластинки карбида, когерентно связанные с твердым раствором. Рентгенографически и магнитометрически установлено, что при низких температурах отпуска образуется метастабильный карбид, отличный от цементита. В литературе он обозначается как γ -карбид, имеет гексагональную решетку и формулу, близкую к Fe_2C . При высоких температурах отпуска (300- 400°C) происходит карбидное превращение $\epsilon \rightarrow \text{Fe}_3\text{C}$ (иногда через

промежуточный карбид $s \rightarrow \gamma \rightarrow \text{Fe}_3\text{C}$).

Итак, в результате первого превращения при отпуске получается так называемый отпущенный мартенсит, являющийся гетерогенной смесью пересыщенного α -раствора (неоднородной концентрации) и еще не обособившихся частиц карбида.

Не следует думать, что ниже 100°C вовсе не происходит распада мартенсита. При этих температурах протекают те же превращения, связанные с выделением карбида, но весьма медленно. Так, в мартенсите закаленной стали с 1,35% за 40 месяцев выдержки при 20°C содержание углерода понизилось до 1,02%. Изучение превращений при низкой температуре отпуска (ниже 150°C), показало, что малая скорость диффузии углерода при этих температурах накладывает своеобразный отпечаток на этот процесс.

Выделяющийся при отпуске карбид образуется за счет углерода, только находящегося в близлежащих объемах, тогда как в более удаленных объемах сохраняется исходная концентрация. Состояние твердого раствора характеризуется фактически наличием двух твердых растворов высокой (исходной) концентрации и низкой.

Процесс отпуска развивается в направлении образования все новых и новых кристалликов карбидной фазы в местах, где твердый раствор имеет высокую концентрацию.

Исследования показали, что выделившаяся тонкая пластинка карбида при таких низких температурах отпуска еще полностью не обособилась от α -твердого раствора. Решетка

³ Дилатометр - прибор, при помощи которого изучаются изменения длины образца при нагревании и охлаждении (применяется для определения критических точек, коэффициента линейного расширения и т. д.).

мартенсита (α-раствора) сопряжена с решеткой карбида по определенной кристаллографической плоскости, т. е. пограничный слой атомов принадлежит и мартенситу, и карбиду. Это соответствие (когерентность) решеток нарушается при более высоких температурах отпуска, когда происходит обособление карбидов от мартенсита и коагуляция карбидных частиц.

Дальнейший нагрев выше 200° С ведет к иному превращению, вызывающему расширение стали. Это так называемое второе превращение при отпуске захватывает интервал температур 200-300° С. В этом интервале остаточный аустенит превращается в гетерогенную смесь, состоящую из пересыщенного δ-раствора и карбида. Другими словами, при этом превращении остаточный аустенит превращается в отпущенный мартенсит. Это превращение диффузионное (остаточный аустенит распадается на две фазы разной концентрации) и по своей природе похоже на бейнитное превращение первичного аустенита.

К концу второго превращения, т. е. при 300°С, α-твердый раствор содержит еще около 0,15-0,20% С; наступающее при дальнейшем повышении температуры сжатие (рис.13.7) указывает на полное выделение углерода из раствора и снятие внутренних напряжений, возникших в результате предыдущих превращений, сопровождавшихся объемными изменениями. Одновременно с этим карбид обособляется и превращается в цементит (Fe₃C). Сумма этих изменений характеризует так называемое третье превращение при отпуске.

Другими словами, в третьем превращении при отпуске происходит ряд изменений, приводящих к снятию внутренних напряжений и карбидным превращениям. При 400°С третье превращение заканчивается, и сталь состоит из феррита и цементита. Дальнейшее повышение температуры ведет к коагуляции частиц феррита и цементита, что легко наблюдать по микроструктуре при больших увеличениях.

Таким образом, происходящие при отпуске превращения -это:

I - выделение углерода из раствора, происходит главным образом при низких температурах (в высокоуглеродистой стали), но распространяется на широкий интервал температур.

II - распад остаточного аустенита, происходит в ограниченном интервале температур, зависящем от состава стали.

III - снятие внутренних напряжений, наиболее интенсивно развивается в районе 300-400°С.

IV - процесс коагуляции карбидных частиц, начинается при низких температурах отпуска (150°С), но с наибольшей интенсивностью протекает выше 400°С.

15.1 Время нагрева

Общее время нагрева складывается из времени нагрева до заданной температуры (T_н) и времени выдержки при этой температуре (T_в):

$$T_{\text{общ}} = T_{\text{н}} + T_{\text{в}} \quad (15.1)$$

Величина (н) зависит от нагревающей способности среды, от размеров и формы деталей, от их укладки в печи; (в) зависит от скорости фазовых превращений, которая определяется степенью перенагрева выше критической точки и дисперсностью исходной структуры.

Время нагрева зависит от многих факторов и на практике колеблется от 1-2 мин (нагрев мелких деталей в соли) до многих часов (нагрев крупных деталей тяжелого машиностроения в печи).

Точно установить время нагрева можно лишь опытным путем для данной детали в данных конкретных условиях, а приближенно можно подсчитать.

15.2 Химическое действие нагревающей среды

При высокой температуре происходит химическое взаимодействие поверхности металла с окружающей средой, причем особое значение имеют два процесса:

- 1) обезуглероживание стали, связанное с выгоранием углерода в поверхностных слоях ($C + O_2 \rightarrow CO_2$);
- 2) окисление стали, ведущее к образованию на поверхности окислов железа ($2Fe + O_2 \rightarrow 2FeO$).

Интенсивность окисления и обезуглероживания стали зависит от температуры, состава стали и состава окружающей газовой среды.

Процессы окисления и обезуглероживания - диффузионные, и естественно, что с повышением температуры они ускоряются.

В печной атмосфере в зависимости от рода топлива, условий его сжигания и температуры образуются различные газы, в том числе CO₂ и CO, O₂, H₂, H₂O, N₂, CH₄.

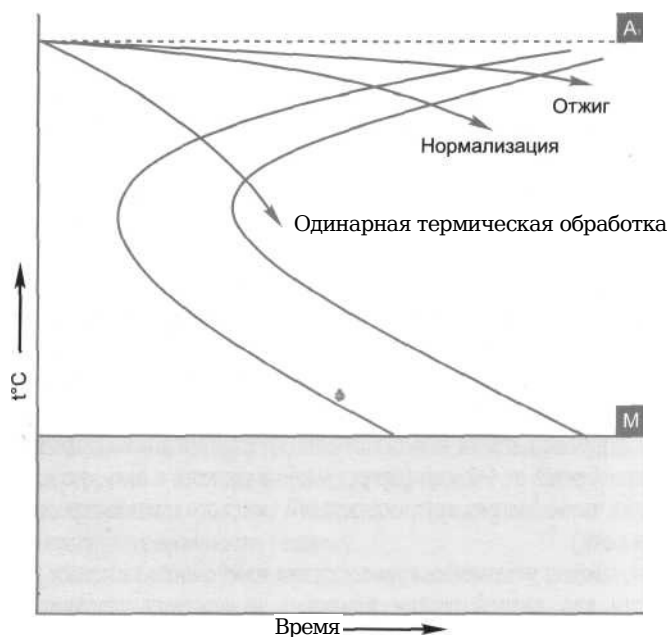
Эти газовые среды различно действуют на сталь. Так H₂ обезуглероживает, CO₂ окисляет, O₂ и H₂O окисляют и обезуглероживают, CO и CH₄ науглероживают.

Изучив законы равновесия этих газов, т.е. взаимодействие газов между собой и газов со сталью, можно создать при заданных температурах термической обработки такие условия, при которых реакции окисления <-> восстановление и обезуглероживание <->

науглероживание идут с одинаковой скоростью в обе стороны, т.е. практически не изменяют состав металла и металл не реагирует с атмосферой. В этом случае атмосфера нейтральна; она не воздействует на поверхность металла и не изменяет ее.

15.3 Отжиг и нормализация

Отжиг - такая термическая обработка, при которой сталь нагревается выше $A_{с3}$ (или только выше $A_{сх}$ - неполный отжиг) с последующим медленным охлаждением. Нагрев выше $A_{с1}$ обеспечивает полную перекристаллизацию стали. Медленное охлаждение при отжиге обязательно должно привести к рас-



видманштеттовой, после такого отжига превращается в структуру из мелких зерен феррита и перлита (рис. 15.3, а и б).

Если нет необходимости изменить расположение ферритной составляющей, если исходная структура не очень крупнозерниста и не имеет характера видманштеттовой структуры, то достаточно провести более низкий нагрев - выше A_{c1} , но ниже A_{c3} . При этом произойдет лишь перекристаллизация (перлитной составляющей, но не ферритной). Это будет так называемый неполный отжиг (см. рис.15.2). Неполный отжиг - более экономичная операция, чем полный, так как нагрев в этом случае осуществляется до более низких температур.

Если исходная структура хорошая и нет необходимости в перекристаллизации, а требуется только снизить внутренние напряжения, то нагрев под отжиг ограничивают более низкими температурами, ниже критической точки. Это будет низкий отжиг (см. рис.15.2). Очевидно, что эта операция относится к первой группе видов термической обработки (отжиг первого рода), тогда как полный и неполный отжиг относятся ко второй группе (отжиг второго рода, или фазовая перекристаллизация).

Рисунок 15.1 - Кривые охлаждения для отжига, нормализации и одинарной термической обработки, наложенные на диаграмму изотермического распада аустенита

паду аустенита и превращению его в перлитные структуры.

Нормализация есть разновидность отжига; при нормализации охлаждение проводится на спокойном воздухе, что создает несколько более быстрое охлаждение, чем при обычном отжиге (рис. 15.1). И в случае нормализации превращение должно произойти в верхнем районе температур с образованием перлита, но при несколько большем переохлаждении, что определяет некоторое различие свойств отожженной и нормализованной стали.

Отжиг и нормализация обычно являются первоначальными операциями термической обработки, цель которых - либо устранить некоторые дефекты предыдущих операций горячей обработки (литья,ковки и др.), либо подготовить структуру к последующим технологическим операциям (например, обработке резанием, закалке). Однако довольно часто отжиг, и особенно нормализация, являются и окончательной термической обработкой. Это бывает тогда, когда после отжига или нормализации получают удовлетворительные с точки зрения эксплуатации детали свойства и не требуется их дальнейшее улучшение путем закалки и отпуска.

Основные цели отжига: перекристаллизация стали и устранение внутренних напряжений.

Обе эти задачи выполняются обычным полным отжигом (рис.15.2), заключающимся в нагреве стали выше верхней критической точки с последующим медленным охлаждением. Феррито-перлитная структура переходит при нагреве в аустенитную, а затем при охлаждении аустенит превращается обратно в феррит и перлит, т. е. происходит полная перекристаллизация.

Структура, состоящая из крупных зерен перлита и феррита, которая часто бывает после литья иликовки (а иногда ферритные выделения имеют вид игл - такая структура называется

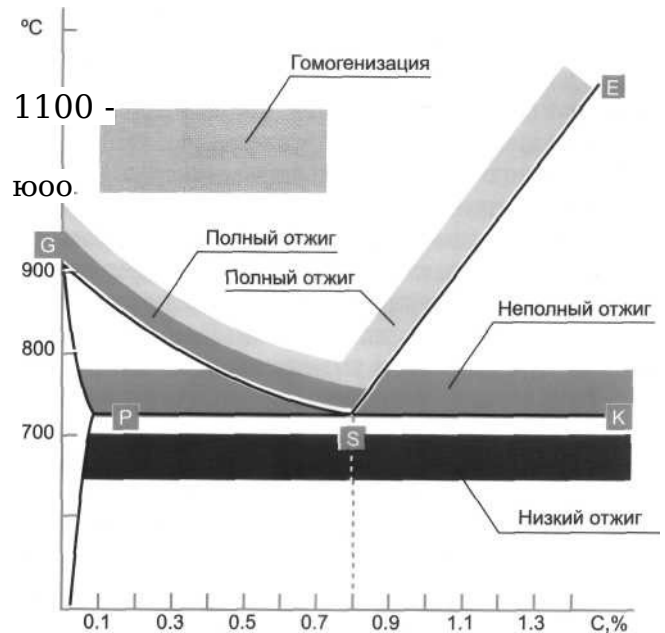
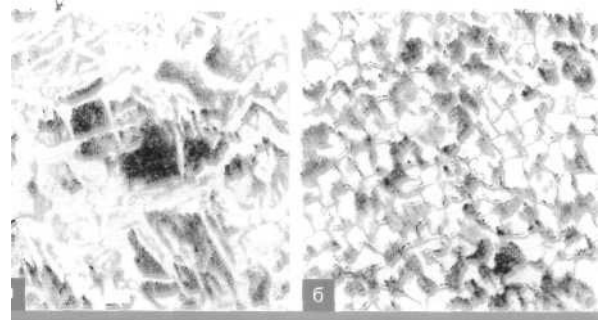


Рисунок 15.2 - Схема различных видов отжига

Рисунок 15.3 - Структура стали 40: а - до отжига ("видманштетт"); б - после с



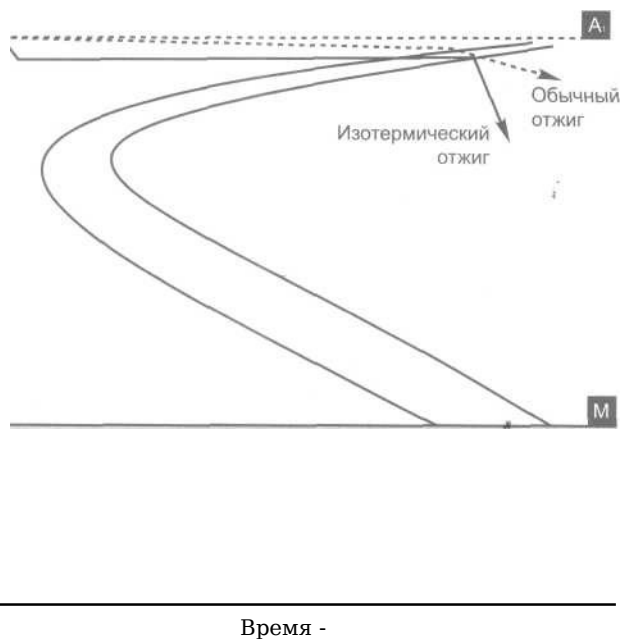


Рисунок 15.4 - Схема изотермического и обычного отжига

целью экономии времени чаще проводят так называемый изотермический отжиг. Для этого сталь, нагретая выше верхней (или только нижней) критической точки, охлаждается быстро (точнее, с любой скоростью) до температуры,

Литая сталь обычно характеризуется неоднородностью состава, дендритной и зональной ликвацией. Нагрев до высоких температур и выдержка при них ведет к устранению или смягчению дендритной неоднородности. Такая операция называется гомогенизацией, или диффузионным отжигом. Высокий нагрев (обычно до 1000-1100°C) и длительная выдержка ведут к сильному росту зерна, и поэтому после такой обработки структура получается крупнозернистой и требуется дополнительная операция термической обработки для исправления структуры (обычный отжиг).

Если диффузионный отжиг был применен к слиткам, которые будут подвергаться пластической деформации (прокатке, ковке), то необходимость в последующем отжиге отпадает, так как крупнозернистая структура исправится пластической деформацией.

Неполный отжиг заэвтектоидных сталей называют также сфероидизацией, так как это - основной способ получения структуры зернистого перлита. Выше мы отмечали, что для получения зернистого перлита нагрев должен не на много превосходить критическую точку $A_{сх}$ в противном случае получается пластинчатый перлит. Структурой зернистого перлита должны обладать инструментальные стали, так как это обеспечивает хорошую обрабатываемость режущим инструментом и малую склонность к перегреву при закалке.

При отжиге скорость охлаждения должна быть такова, чтобы успели произойти превращения аустенита при малой степени переохлаждения.

Практически скорость охлаждения не должна быть больше 50-100 град/ч, что достигается охлаждением в печи. В заводской практике с

лежащ чаще, чем отжиг с непрерывным охлаждением, ей наособенно ря легированных сталей, так как это 50-сокращает продолжительность операции.

100°C Нормализация, естественно, - более дешевая ниже термическая операция, чем отжиг, так как печи равнов используют только ря нагрева и выдержки при есной температуре нормализации; охлаждение точки осуществляют на воздухе, вне печи.

Аj, и Для низкоуглеродистых нелегированных при сталей разница в свойствах между отожженным и этой нормализованным состояниями практически темпер отсутствует и рекомендуется эти стали под-атуре вергать не отжигу, а нормализации. Для выдер среднеуглеродистых сталей (0,3-0,5% С) живаает различие в свойствах нормализованной и ся отожженной стали более значительно; в этом стольк случае нормализация не может заменить отжига. о, Но для этих сталей нормализацией часто скольк заменяют более дорогую операцию улучшения о (как известно, состоящую в двойной обработке: необхо закалка + отпуск при высокой температуре). димо Нормализация в этом случае придает стали, по для сравнению с отожженным состоянием, более полног высокую прочность, но, по сравнению с о улучшенным состоянием, нормализованная сталь распад имеет несколько меньшую пластичность и а вязкость. Для неотвественных деталей нор-аустен мализация дает достаточно удовлетворительные ита механические свойства; для ответственных (рис.15 деталей следует все же применять улучшение.

.4). При нормализации охлаждение производится

Пос на спокойном воздухе. Если после нагрева до кольку аустенитной области следует охлаждение в струе темпер воздуха, создающего такую повышенную скорость атуру охлаждения, чтобы превращение произошло все контро же в районе изгиба С-кривой, то такая обработка лирова носит название одинарной термической ть обработки; применяется она, если стремятся легче, избежать закалки и надо получить твердость, чем несколько более высокую, чем при нормализации.

ско-
рость
охлажд
ения,
такой
отжиг
дает
более

16

ЛЕГИРОВАНН ЫЕ СТАЛИ

стабил 16 Л Влияние легирующих элементов

ьные 16.1.1 Классификация примесей

результ- Прежде всего необходимо определить, что таты. Вназывается легированной сталью и легирующим настоя элементом.

щее В соответствии с классификацией, время прероженной Н. Т. Гудповым, все примеси изотер (химические элементы), содержащиеся в стали, мическ можно разделить на четыре группы:

ий 1. Постоянные или обыкновенные отжиг примеси. К этой группе относятся марганец и приме кремний, присутствующие в любой стали (в няют кипящей стали содержание кремния очень

невелико),

потому что введение их в металл необходимо при производстве стали; сера и фосфор, потому что полностью освободиться от них невозможно. Содержание этих элементов находится обычно в пределах: 0,3-0,7% Мп; 0,2-0,4% Si; 0,01-0,05% Р и 0,01-0,04% S.

2. Скрытые примеси. Это кислород, водород и азот, присутствующие в любой стали в очень малых количествах. Методы их химического определения сложны, поэтому их содержание в обычных технических условиях не указывается.

3. Случайные примеси. К этой группе относятся примеси, попадающие в сталь из шихтовых материалов или случайно.

Так, уральские руды содержат небольшое количество меди, и она попадает в сталь, выплавленную из этих руд. Сталь, выплавленная из керченских руд, имеет мышьяк, так как эти руды содержат мышьяк. Переплавка луженого, оцинкованного и другого скрапа приводит к тому, что в металл попадают олово, цинк, сурьма, свинец и др.

Широкое применение лома хромистых и хромоникелевых сталей для производства углеродистых сталей обуславливает присутствие в них хрома (0,1-0,3%) и никеля (0,2-0,3%).

Поскольку наличие примесей перечисленных групп - неизбежное следствие технологического процесса производства стали в различных условиях, естественно, что эти примеси в указанных концентрациях нельзя рассматривать как легирующие элементы, а стали, содержащие эти примеси, как легированные стали.

4. Легирующие элементы. Элементы, специально вводимые в сталь в определенных концентрациях с целью изменения ее строения и свойств, называются легирующими элементами.

В связи с этим стали, в которые для получения требуемых свойств специально вводят легирующие элементы, называют легированными сталями (легированные стали иногда называют специальными). Например сталь, содержащая всего 0,05-0,1% ванадия (V) или 0,1% титана (Ti), считается легированной ванадиевой или титановой сталью, поскольку эти элементы специально вводили в сталь для получения требуемых свойств.

Для получения в стали более 0,7% Мп последний должен вводиться в нее в количествах сверх требуемого по технологии выплавки. Поэтому, например, сталь с 1,0% Мп является уже легированной

марганцовистой сталью, а марганец в такой концентрации считается легирующим элементом.

16.1.2 Влияние элементов на полиморфизм железа

Все элементы, которые растворяются в железе, влияют на температурный интервал существования его аллотропических модификаций, т. е. сдвигают точки A_3 и A_4 по температурной шкале.

Большинство элементов или повышают точку A_4 и снижают точку A_3 расширяя тем самым область существования γ -модификации (рис. 16.1, а), или понижают A_4 и повышают A_3 , сужая область существования γ -модификации (рис. 16.1, б).

Из схематических диаграмм состояния железо - легирующий элемент, приведенных на рис. 15.1, видно, что свыше определенного содержания марганца, никеля или некоторых других элементов (рис. 16.1, а), γ -состояние существует как стабильное от комнатной температуры до температуры плавления. Такие железные сплавы называются аустенитными.

При содержании ванадия, молибдена, кремния и других элементов свыше определенного предела устойчивым при всех температурах является α -состояние (рис. 16.1, б). Такие железные сплавы называются ферритными. В отличие от других железных сплавов аустенитные и ферритные сплавы не имеют превращений при нагревании и охлаждении.

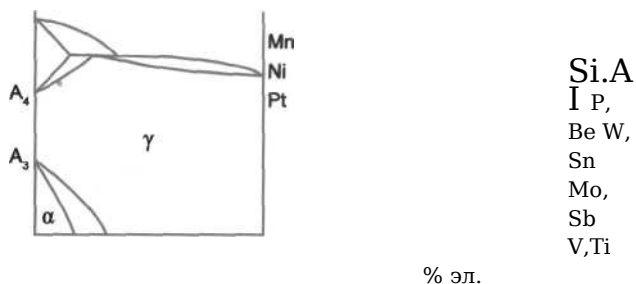


Рисунок 16.1 - Схема диаграмм состояний железо-легирующий

16.1.3 Распределение легирующих элементов в стали

В промышленных легированных сталях, которые являются многокомпонентными системами, легирующие элементы могут находиться:

- а) в свободном состоянии;
- б) в форме интерметаллических соединений с железом или между собой;
- в) в виде оксидов, сульфидов и других неметаллических включений;
- г) в карбидной фазе в виде раствора в цементите или в виде самостоятельных соединений с углеродом - специальных карбидов;
- д) в форме раствора в железе.

Таким образом, подводя итоги сказанному, можно констатировать: легирующие элементы растворяются в основных фазах железоуглеродистых сплавов (феррит, аустенит, цементит) или образуют специальные карбиды (специальными карбидами называются карбиды, образованные с участием карбидообразующих элементов и имеющие отличную от цементита формулу).

16.1.4 Влияние легирующих элементов на превращения в стали

Кинетика распада аустенита определяет поведение стали при термической обработке. Влияние же легирующих элементов на кинетику превращения аустенита очень велико.

Элементы, которые только растворяются в

феррите или цементите, не образуя специальных карбидов, оказывают лишь количественное влияние на процессы превращения. Они или ускоряют превращение (к таким элементам относится только Co), или замедляют его (большинство элементов, в том числе Mn, Nb, Si и др.).

Карбидообразующие элементы вносят не только количественные, но и качественные изменения в кинетику изотермического превращения. Так, легирующие элементы, образующие карбиды I группы, при разных температурах по-разному влияют на скорость распада аустенита:

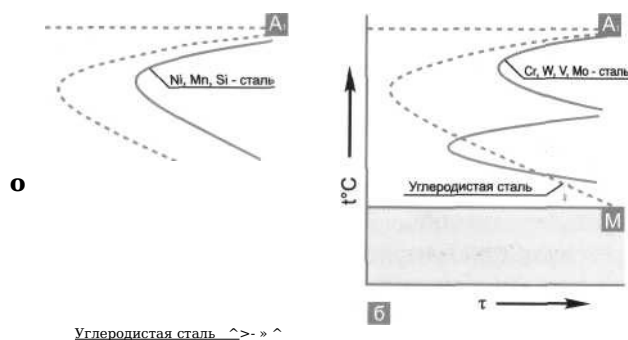


Рисунок 16.2 - Схема диаграмм изотермического распада аустенита: а - углеродистая сталь и сталь, легированная некарбидо-образующими элементами; б - углеродистая сталь и сталь, легированная карбидообразующими элементами

700-500°C (образование перлита) - замедляет превращение;

500-400°C - весьма значительно замедляют превращение;

400-300°C (образование бейнита) - ускоряют превращение.

Таким образом, в сталях, легированных карбидообразующими элементами (Cr, Mn, W и др.), наблюдаются два максимума скорости изотермического распада аустенита, разделенных областью относительной устойчивости переохлажденного аустенита. Изотермический распад аустенита имеет два явно выраженных интервала превращений - превращение в пластинчатые (перлитное превращение) и превращение в игольчатые (бейнитное превращение) структуры.

Схематическое изображение диаграммы изотермического превращения (показано лишь начало превращения) приведено на рис. 16.2.

Практически наиболее важной является способность легирующих элементов замедлять скорость распада аустенита в районе перлитного превращения, что выражается в смещении вправо линии на диаграмме изотермического распада аустенита. Это способствует более глубокой прокаливаемости и переохлаждению аустенита до интервала мартенситного превращения при более мерном охлаждении, например при охлаждении в масле или на воздухе.

В отношении оценки относительной степени влияния различных элементов на прокаливаемость существуют расходящиеся в количественном выражении данные. Наиболее сильно увеличивают прокаливаемость хром, никель, молибден, марганец, поэтому они входят в состав большинства конструкционных легированных сталей.

Прокаливаемость стали может быть особенно увеличена при совместном легировании несколькими элементами. Таково, например, совместное действие никеля и хрома.

Очень эффективно действует молибден при введении его в хромоникелевую сталь.

Своеобразно влияют на кинетику распада

такие сильные карбидообразователи, как V, Ti, Nb и отчасти W. Так как элементы образуют труднорастворимые карбиды, то при обычных температурах закалки (800-900°C) они остаются связанными в карбиды и не переходят в аустенит. В результате этого прокаливаемость стали уменьшается, так как карбиды действуют как го-

товые центры кристаллизации перлита. При высоком нагреве под закалку эти карбиды уже растворяются; аустенит содержит эти элементы в растворе, что увеличивает прокаливаемость.

Опыты показали, что малые добавки некоторых элементов эффективно влияют на прокаливаемость, в то время как более высокое их содержание такого действия не оказывает. К таким элементам надо отнести в первую очередь бор (В). Тысячные доли процента этого элемента способствуют увеличению прокаливаемости[™], так как весь бор, находясь в растворе, концентрируется в тонких пограничных слоях зерна аустенита и уменьшает скорость зарождения центров кристаллизации перлита (а как мы видели выше, зародыши перлита образуются главным образом по границам аустенитных зерен).

Оптимальное содержание бора в стали, обеспечивающее наибольшую прокаливаемость, равно всего лишь 0,001-0,003%; при большом содержании бора концентрация его на границах зерна аустенита превышает предел насыщения, в результате чего появляются избыточные бористые фазы (бориды), действующие как центры кристаллизации перлита, и прокаливаемость уменьшается.

16.1.5 Влияние легирующих элементов на мартенситное превращение

Легирующие элементы не влияют на кинетику мартенситного превращения, которая, по-видимому, похожа во всех сталях. Их влияние сказывается здесь исключительно на положении температурного интервала мартенситного превращения, а это в свою очередь отражается и на количестве остаточного аустенита, которое фиксируется в закаленной стали. Некоторые элементы повышают мартенситную точку и уменьшают количество остаточного аустенита (алюминий, кобальт), другие не влияют на нее (кремний), но большинство снижает мартенситную точку и увеличивает количество остаточного аустенита (рис. 16.3). Из диаграммы видно, что 5% Мп снижает мартенситную точку до 0°C, следовательно, при таком (или большем) содержании этого легирующего элемента охлаждением можно зафиксировать аустенитное состояние.

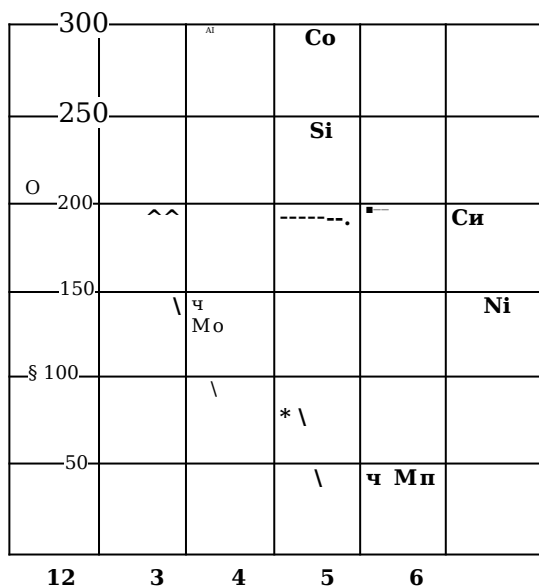
16.1.6 Влияние легирующих элементов на рост зерна аустенита

Все легирующие элементы уменьшают склонность аустенитного зерна к росту. Исключение составляют марганец и бор, которые способствуют росту зерна. Остальные элементы, измельчающие зерно, оказывают различное влияние: никель, кобальт, кремний, медь (элементы, не образующие карбидов) относительно слабо влияют на рост зерна; хром, молибден, вольфрам, ванадий, титан сильно измельчают зерно (элементы перечислены в

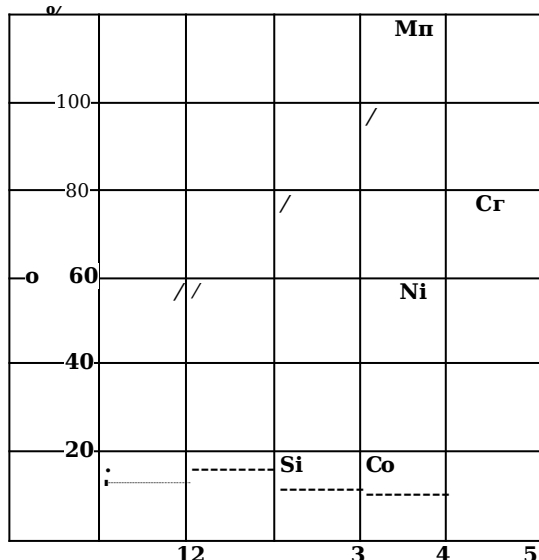
порядке роста силы их действия). Это различие является прямым следствием различной устойчивости карбидов (и нитридов) этих элементов. Избыточные карбиды, не растворенные в аустените, препятствуют росту аустенитного зерна. Поэтому сталь при наличии хотя бы небольшого количества нерастворимых карбидов сохраняет мелкозернистое строение до весьма высоких температур нагрева.

16.1.7 Влияние легирующих элементов на превращения при отпуске

Легирующие элементы замедляют процесс распада мартенсита. Некоторые элементы, такие как никель или марганец,



Содержание легирующего элемента, %



Содержание легирующего элемента, %

Рисунок 15.3 - Влияние легирующих элементов на температуру мартенситного превращения (а) и количество остаточного аустенита (б). Стали содержат 1 % С

влияют незначительно, тогда как большинство (хром, молибден, кремний и др.) - весьма заметно.

На начальной стадии распада мартенсита в легированных сталях образуется е-карбид, имеющий тот же состав (по легирующим элементам), что и мартенсит. На этой стадии отпуска влияние легирующих элементов на разупрочнение мартенсита невелико. При более высокой температуре происходит срыв когерентности и превращение е-карбида в цементит или специальный карбид. На этой стадии отпуска наступает разупрочнение. Большинство легирующих элементов смещает эти процессы вверх по температурной шкале.

Для получения одинаковых результатов сталь, легированную такими элементами, как хром, молибден, кремний и др., нужно нагревать при отпуске до более высокой температуры или увеличивать продолжительность отпуска по сравнению с углеродистой сталью.

16.2 Классификация и маркировка легированных сталей

16.2.1 Классификация легированных сталей

Легированные стали могут быть классифицированы по

четырем признакам: по равновесной структуре, по структуре после охлаждения на воздухе, по составу и по назначению (таблица 16.1).

16.2.2 Классификация по равновесной структуре

1. Доэвтектоидные стали, имеющие в структуре избыточный феррит.

2. Эвтектоидные стали, имеющие перлитную структуру.

3. Заэвтектоидные стали, имеющие в структуре избыточные (вторичные) карбиды;

4. Ледебуритные стали, имеющие в структуре первичные карбиды, выделившиеся из жидкой стали. По структуре

ледебуритные стали должны быть отнесены к чугунам (белым).

Железоуглеродистые сплавы с содержанием более 2,0% угле

рода, т. е. чугуны, при наличии ледебурита не куются. В леги

рованных сталях ледебури́т образуется при меньшем содер

жании углерода. Присутствие ледебурита и в легированных

сталях затрудняет ковку, но не делает ее невозможной. В литом

виде избыточные карбиды совместно с аустенитом образуют

эвтектику - ледебури́т, который при ковке или прокатке

разбивается на обусловленные карбиды и

аустенит.

В соответствии с диаграммой Fe-C

доэвтектоидные

по равновесной
структуре

по структуре после
охлаждения на
воздухе

по
составу

по
назначению

дозвтек
эвтекто
завтек
ледобур

хромоникель-мо
либденовые
прочие
конструкционн
строительные
стали и сплавы с особыми свойствами

**Таблица 16.1 -
Классификация
легированных
сталей**

углеродистые стали содержат менее 0,8% углерода, эвтектоидные - около 0,8%, заэвтектоидные 0,8 - 2,0% и ледебуритные - более 2,0%.

Большинство легирующих элементов сдвигает точки S и E (на диаграмме состояния Fe-C) в сторону меньшего содержания углерода, поэтому граница между доэвтектоидными и заэвтектоидными сталями, заэвтектоидными и ледебуритными - в легированных сталях лежит при меньшем содержании углерода, чем в углеродистых. Так, при 5% Cr сталь с 0,6% C является заэвтектоидной, а с 1,5% C - ледебуритной. Влияние различных элементов на положение точек S и E показано на рис.16.4.

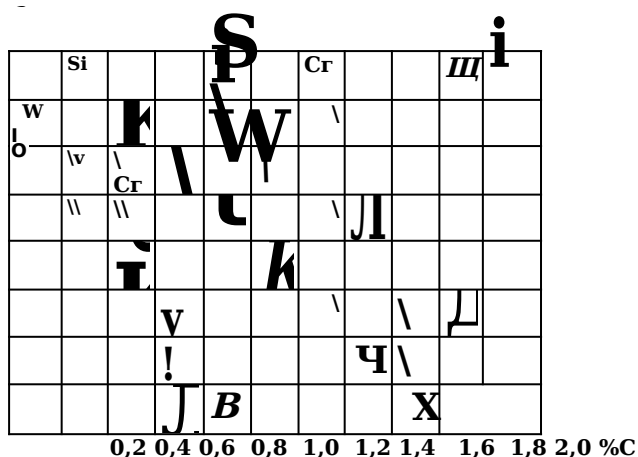


Рисунок 16.4 - Влияние легирующих элементов на точки S и E

Как было указано выше, при большой концентрации элемента, сужающего γ -область, превращение $\gamma \leftrightarrow \alpha$ отсутствует (ферритные сплавы). Следовательно, класс ферритных сталей получается при высоком содержании элемента, сужающего γ -область, и малом содержании углерода, расширяющего γ -область.

Точно так может быть получен класс аустенитных сталей. При достаточно высоком содержании элементов, расширяющих γ -область, получаются стали, в которых сохраняется аустенит при охлаждении до комнатной температуры.

Следовательно, кроме доэвтектоидного, эвтектоидного, заэвтектоидного и ледебуритного классов, могут еще быть

легированные стали ферритного и аустенитного классов. Возможны еще так называемые промежуточные классы - полуферритный или полугаустенитный, - это такие стали, у которых $\gamma \leftrightarrow \alpha$ превращение происходит частично.

16.2.3 Классификация по структуре после охлаждения на воздухе

Исходя из структуры, получаемой после охлаждения на спокойном воздухе образцов небольшой толщины, можно выделить три основных класса сталей:

- 1) перлитный;
- 2) мартенситный;
- 3) аустенитный.

Стали перлитного класса характеризуются относительно малым содержанием легирующих элементов, мартенситного - более значительным и, наконец, аустенитного - высоким содержанием легирующих элементов.

Постараемся связать получение трех классов сталей с кинетикой распада аустенита.

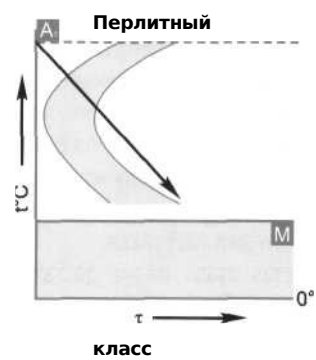
Получение трех классов стали обусловлено тем, что по мере увеличения содержания легирующих элементов устойчивость аустенита в перлитной области возрастает, а температурная область мартенситного превращения понижается, что и отражено на диаграммах изотермического распада аустенита (рис.16.5).

Для легированных сталей перлитного класса (как и для углеродистых) кривая скорости охлаждения на воздухе будет пересекать область перлитного распада и будут получаться структуры - перлит, сорбит, тростит.

У сталей мартенситного класса область перлитного распада уже значительно сдвинута вправо. Поэтому охлаждение на воздухе не приводит к превращению в перлитной области - аустенит здесь переохлаждается без распада до температур мартенситного превращения, где и происходит образование мартенсита.

Дальнейшее увеличение содержания углерода и легирующего элемента не только сдвигает вправо область перлитного распада, но и снижает мартенситную точку, переводя ее в область отрицательных температур. В этом случае сталь, охлажденная на воздухе до комнатной температуры, сохранит аустенитное состояние.

Подчеркиваем, что рассмотренная классификация условна



и относится к случаю охлаждения на воздухе образцов относительно небольших размеров. Меняя условия охлаждения, можно получать и разные структуры. Так, при закалке перлитной стали может быть получена мартенситная структура, а при медленном охлаждении сталь мартенситного класса испытывает превращение в перлитной области. Охлаждение аустенитной стали ниже нуля может вызвать в ней мартенситное превращение.

16.2.4 Классификация по составу

В зависимости от состава легированные стали классифицируются как никелевые, хромистые, хромоникелевые, хромоникельмолибденовые и т. тому подобные стали. Классификационный признак - наличие в стали тех или иных 'легирующих элементов.

16.2.5 Классификация по назначению

В зависимости от назначения стали можно объединить в следующие группы.

Конструкционная сталь, идущая на изготовление деталей машин. Конструкционная (машиноподелочная) сталь, как правило, у потребителя подвергается термической обработке. Поэтому конструкционные стали подразделяются на цементируемые (подвергаемые цементации) и улучшаемые (подвергаемые закалке и отпуску, практически не обязательно высокому).

Ближние по составу к конструкционным сталям, но не предназначенные для термической обработки у потребителя, объединяются в группу так называемых строительных сталей (они в основном применяются в строительстве).

Инструментальная сталь, идущая на изготовление режущего, измерительного, штампового и прочего инструмента. Инструментальные стали условно подразделяются на следующие четыре категории: углеродистые, легированные, штамповые и быстрорежущие.

Стали и сплавы с особыми свойствами. К ним относятся стали, обладающие каким-нибудь резко выраженным свойством: нержавеющие, жаропрочные и теплоустойчивые, износостойчивые, с особенностями теплового расширения, с особыми магнитными и электрическими свойствами и т. д.

В ряде случаев эти стали содержат такое большое количество легирующих элементов, что их нужно причислять не к сплавам железа (т. е. к сталям), а к сложным многокомпонентным сплавам. Однако четкой границы между такими сплавами и сталями нет (принято условно, что если сумма легирующих элементов превосходит 55%, то такой сплав не называют сталью), и поэтому их придется рассматривать вместе со сталями. Более того, некоторые из таких сплавов могут вовсе не содержать железа, хотя по свойствам и назначению они близки к сплавам, в которых основным элементом - железо.

16.2.6 Маркировка легированных сталей

Для обозначения марок стали разработана система, принятая в ГОСТах. Обозначения состоят из небольшого числа цифр и букв, указывающих на примерный состав стали.

Каждый легирующий элемент обозначается буквой: Н - никель; Х - хром; К - кобальт; М - молибден; Г - марганец; Д - медь; Р - бор; Б - ниобий; Ц - цирконий; С - кремний; П - фосфор; Ч - редкоземельные металлы; В - вольфрам; Т - титан; Л - азот; Ф -

ванадии; Ю - алюминий.

Первые цифры в обозначении показывают среднее содержание углерода в сотых долях процента. Цифры, идущие после буквы, указывают на примерное содержание данного легирующего элемента (при содержании элемента менее или около 1% цифра отсутствует; при содержании около 2% - цифра 2 и т. д.).

Следовательно, сталь состава 0,10-0,15% С и 1,3-1,7% Мп будет обозначаться 12Г2; сталь состава: 0,28- 0,35 % С; 0,8-1,1% Сг; 0,9-1,2% Мп; 0,8-1,2% S - 30ХГС и т.д.

Для того чтобы показать, что в стали ограничено содержание серы и фосфора ($S < 0,03\%$; $P < 0,03\%$), а также что соблюдены все условия металлургического производства высококачественной стали, в конце обозначения марки ставят букву А (буква А в середине марочного обозначения указывает на наличие азота, специально введенного в сталь).

Однако в ряде случаев ряд сокращения числа знаков в обозначении несколько отступают от точного соблюдения системы ГОСТов (особенно это относится к сложнолегированным сталям). Например, в инструментальных сталях, имеющих углерода больше 1%, цифры, обозначающие его содержание, полностью опускают. Так, инструментальная сталь с 1,45-1,70% С; 11,0-12,5% Сг и 0,5-0,8% Мо обозначается Х12М.

Нестандартные стали обозначают самым различным образом. Так, опытные марки могут обозначаться буквой И (исследовательские) и П (пробные) и порядковым номером и т. д.

Несмотря на то, что для всех сталей невозможно применить в полном объеме систему маркировки ГОСТов, она все же наиболее удобна, наглядна и значительно превосходит в этом отношении принятую в других странах (США, Англия, ФРГ и др.) систему маркировки стали.

16.3 Конструкционные стали

16.3.1 Механические свойства сталей и влияние легирующих элементов

Сталь, идущая на изготовление деталей машин должна обладать главным образом высокими механическими свойствами. При этом сталь должна обладать комплексом высоких механических свойств, а не высоким значением какого-либо одного свойства. Материал, идущий на изготовление деталей, подвергающихся большим нагрузкам, должен хорошо сопротивляться таким нагрузкам и наряду с высокой прочностью и высокой пластичностью обладать вязкостью, чтобы сопротивляться динамическим и ударным воздействиям.

В деталях, испытывающих знакопеременные нагрузки, металл должен обладать высоким сопротивлением усталости.

Из всех известных в технике материалов лучшее сочетание прочности и вязкости может быть получено у стали, поэтому сталь является

основным материалом для изготовления деталей, подвергающихся большим нагрузкам.

Простая углеродистая сталь имеет достаточно высокий комплекс механических свойств, но в малых сочетаниях. При изготовлении же деталей диаметром более 20-25 мм она не может удовлетворить всем требованиям. В этом случае применяют легированные стали. Наличие в стали легирующих элементов позволяет более совершенно и более полно ис-

пользовать положительное влияние термической обработки на механические свойства. Поэтому ряд деталей ответственного назначения применяют легированные стали. Повышение прочности деталей при применении легированной стали обуславливается главным образом тем, что легирующие элементы увеличивают прокаливаемость.

Под прокаливаемостью подразумевают глубину проникновения закаленной зоны.

Несквозная прокаливаемость объясняется тем, что при закалке деталь охлаждается быстрее с поверхности и медленнее - в сердцевине. При закалке скорость охлаждения распределяется по сечению так, как это показано на рис. 16.б, а пунктирной линией; у поверхности скорость охлаждения максимальная, в центре - минимальная. Если критическая скорость закалки равна величине, показанной на этой схеме горизонтальной пунктирной линией, то деталь не прокаливается насквозь, и глубина закалки будет равна заштрихованному слою.

Наилучшие механические свойства достигаются при сквозном улучшении.

Схема изменения свойств по сечению, приведенная на рисунке 16.7, показывает, что при слабой прокаливаемости предел текучести, как и ударная вязкость, понижается более значительно, чем предел прочности и удлинения.

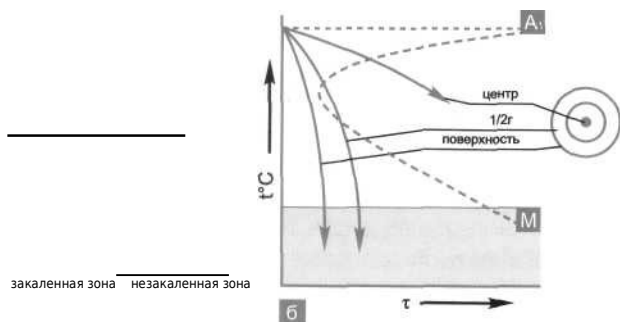


Рисунок 16.6 - Схемы, показывающие различную скорость охлаждения по сечению и в связи с этим несквозную прокаливаемость

НВ

НВ

НВ

Рисунок 16.7 - Схема, показывающая влияние глубины закалки на механические свойства закаленной и отпущенной стали (заштрихована закаленная зона); а, б, в - стали различной прокаливаемости

Таким образом, легирующие элементы, увеличивая прокаливаемость, улучшают механические свойства по сечению деталей (главным образом $\delta_0, 2$, f и χ_k). Положительное влияние легирующих элементов сказывается тем больше, чем больше сечение детали.

Если образцы из разных сталей закалить от оптимальных для каждой стали температур, отпустить при одной температуре и затем сравнить их механические свойства, то можно увидеть, что легирующие элементы действуют порознь.

В сталях, легированных элементами, затрудняющими процессы распада мартенсита при отпуске (Mo, W, V, Si и др.), прочность будет выше, а пластичность и вязкость ниже по сравнению со сталью в которой таких элементов меньше или совсем нет. В сталях, легированных элементами, затрудняющими рост зерна аустенита (Mo, W, V, Al, Ti, Zr и др.), после закалки получится более мелкое зерно, что положительно скажется на вязкости.

Легирование влияет на температуру перехода в хрупкое состояние. В этом отношении особенно показательно влияние никеля. Никель, в отличие от других элементов, снижает температуру перехода стали в хрупкое состояние, тогда как хром - элемент, которым часто легируют конструкционные стали, повышает порог хладноломкости. Подобное влияние никеля уникально, так как другие элементы повышают порог хладноломкости, содержащие никель стали особенно ценны как конструкционный материал. Однако никель - дефицитный элемент; кроме того, легированием одним никелем не удастся в необходимой степени увеличить прокаливаемость. Поэтому в конструкционных сталях никель присутствует одновременно с другими элементами, однако положительная роль никеля проявляется и в сложнолегированных сталях.

Сказанное показывает, что для оценки механических свойств стали важны не только обычные, гарантированные стандартом, механические свойства, но и такие свойства, как сопротивление отрыву, чувствительность к надрезу, которые в общем виде характеризуются температурой перехода в хрупкое состояние.

Опыт показывает, что обычными методами термической обработки стали (закалка + отпуск) можно получить достаточно удовлетворительный уровень ударной вязкости (a_n порядка 600-800 кДж/м² при пределе прочности до 1500 Мн/м²).

16.3.2 Термическая обработка конструкционных сталей.

При одинаковом уровне прочности более высокие механические свойства получаются после термической обработки. Следовательно, легированные стали следует применять исключительно в термически обработанном виде.

Применение легированной и поэтому дорогой стали без термической обработки нерационально.

Режим термической обработки конструкционных сталей определяется главным образом содержанием углерода.

Рассмотрим типичные применяемые на практике режимы термической обработки для низкоуглеродистой (0,10-0,25% С) и среднеуглеродистой (0,30-0,45%) сталей.

Конструкционные стали подвергают двойной упрочняющей термической обработке - закалка + отпуск, причем среднеуглеродистые - обычно высокому отпуску (улучшению),

низкоуглеродистые - низкому.

Нагрев под закалку производится, как правило, до температуры, незначительно превышающей (на 30-50°C) точку A_{c3} . У большинства марок конструкционных низкоуглеродистых сталей эта температура находится около 900°C и у среднеуглеродистых - около 850°C.

Низколегированные стали, как и углеродистые, должны закаливаться в воде (и лишь при малых размерах - в масле), так как малая устойчивость переохлажденного аустенита в районе перлитного распада (около 600°C) делает необходимым быстрое охлаждение при закалке.

Увеличение содержания легирующих элементов ведет, как мы уже знаем, к увеличению устойчивости переохлажденного аустенита. В конструкционных сталях обычного состава содержание легирующих элементов таково, что становится возможной закалка в масле. В некоторых сталях с несколькими легирующими элементами (например, в хромоникельвольф-рамовых или хромоникельмолибденовых сталях) перлитное превращение аустенита настолько задерживается, что охлаждением деталей больших размеров на спокойном воздухе достигается переохлаждение аустенита до температур мартенситного превращения.

У легированных сталей мартенситная структура может быть достигнута более мерным охлаждением, чем у углеродистых; более мерное охлаждение создает меньшие внутренние напряжения, что является существенным фактором, повышающим конструктивную прочность.

Закалка стали на мартенсит - это первый этап термической обработки конструкционной стали. Низкая пластичность, значительные внутренние напряжения не допускают применения конструкционной стали только в закаленном состоянии. Необходим отпуск, повышающий пластичность и вязкость и уменьшающий внутренние напряжения.

Отпуск - завершающая операция термической обработки конструкционной стали, окончательно формирующая ее свойства.

Типичным режимом термической обработки для получения лучшего комплекса механических свойств является: для низкоуглеродистых легированных сталей - закалка от 900°C в масле с отпуском при 150°C (структура отпущенного мартенсита); для среднеуглеродистых легированных сталей - закалка от 850°C в масле с отпуском при 550-650°C (структура сорбита).

В ряде случаев от этих основных режимов термической обработки отступают и применяют несколько иные.

Так высоколегированные низкоуглеродистые стали иногда отпускают при высокой

температуре. Это делается для получения большей пластичности и вязкости (за счет снижения прочности).

16.3.3 Цементуемые (низкоуглеродистые) стали

В этом параграфе рассмотрим некоторые наиболее распространенные низкоуглеродистые стали, применяемые для изготовления цементуемых деталей. Для этой цели применяют стали с низким содержанием углерода (порядка 0,1-0,25%) с тем, чтобы после цементации, закалки и низкого отпуска получить твердый поверхностный слой и вязкую сердцевину. Твердость поверхности после такой обработки будет около 60 HRC,

а сердцевин - порядка 15-30 HRC.

В деталях из углеродистой стали вследствие ее слабой прокаливаемости™ высокую твердость получает лишь поверхностный цементованный слой, а сердцевина не упрочняется.

В легированных же сталях упрочнение сердцевин при термической обработке (закалка + низкий отпуск) будет тем более значительным, чем больше углерода и легирующих элементов они содержат.

В соответствии со сказанным цементуемые стали следует разделить на три группы: углеродистые стали с неупрочняемой сердцевиной, низколегированные стали со слабо упрочняемой сердцевиной и относительно высоколегированные стали с сердцевиной, сильно упрочняемой при термической обработке. Стали последней группы называют иногда высокопрочными цементуемыми сталями. К ним следует также отнести и стали со сравнительно невысоким содержанием легирующих элементов, но с повышенным содержанием углерода (0,25-0,30%).

16.3.4 Улучшаемые (среднеуглеродистые) стали.

Улучшаемые сорта стали содержат 0,3-0,4% С и разное количество легирующих элементов, обычно Cr, Ni, Mo, W, Mn, Si, в сумме не более 3-5%, и часто около 0,1% измельчителей зерна V, Ti, Nb, Zr.

Обычная термическая обработка таких сталей - закалка в масле и высокий (550-650°C) отпуск. Чем больше в стали легирующих элементов, тем больше ее прокаливаемость.

Поскольку механические свойства стали разных марок после указанной термической обработки в случае сквозной прокаливаемости близки, то не механические свойства, а прокаливаемость определяет выбор стали для той или иной детали.

Чем больше сечение детали, тем более легированную сталь следует выбирать. Во избежание развития отпускной хрупкости, что особенно опасно для крупных деталей, которые невозможно быстро охлаждать при отпуске, следует остановиться на сталях, содержащих молибден (0,15-0,30% Mo).

Сложные по конфигурации детали, в особенности если они подвергаются ударным воздействиям, желательно изготавливать из сталей, содержащих никель.

Улучшаемые сорта стали условно разбиты на пять групп. По мере увеличения номера группы растет степень легирования и размер сечения, в котором достигается сквозная прокаливаемость.

Первую группу составляют простые углеродистые стали. Их обычно применяют в нормализованном состоянии или без термической обработки (окончательную структуру формирует охлаждение на воздухе после прокатки). В некоторых случаях для деталей диаметром 10-15 мм, в которых может быть получена более

или менее удовлетворительная прокаливаемость и относительно небольшое коробление, может быть применена углеродистая сталь с улучшающей термической обработкой (закалка + отпуск при 500-550°C).

Из числа дешевых легирующих элементов, таких как марганец, кремний, хром - следует отдать предпочтение последнему. Сталь, легированная 1% Cr (сравните стали 40 и 40X), позволяет получить при охлаждении в масле сквозную прокаливав-

The image is a complex typographic composition. At the top, the letters "НЯЯ" and "НИН" are visible. Below them, there are several rows of characters and symbols:

- A row with "НН" followed by a series of vertical lines.
- A row with "ЩШШШ" followed by a large "В".
- A row with "НН" and "Ю" followed by "|ВЯ|", "Н 9 III", and "ИРЯУ".
- A row with "П" followed by "IIIВ" and "III".

 Other elements include a large "И" at the bottom center, a "Г" at the bottom right, and various geometric shapes like squares and rectangles. The design is highly stylized and abstract.

- 1 При обычном содержании Mn и Si (0,4-0,8%Mn и 0,15-0,40Si) наличие их не указывается.
- 2 Допустимое содержание случайных примесей (в том числе и применяемых в других сталях как легирующие элементы) здесь не указано.
- 3 Большинство марок стали изготавливается с обычным (<0,035%) или пониженным(>0,035% или 0,025%) содержанием серы и фосфора; в последнем случае ставится буква А в конце марочного обозначения.
- 4 Критический диаметр указывается до полной прокаливаемости 95% мартенсита при нижнем содержании углерода и легирующих элементов и для охлаждения в масле (для стали I группы - в воде).
- 5 Порог хладноломкости - температурный интервал (начало и конец) перехода в хрупкое состояние для улучшенного состояния (при $\sigma_s=1000\text{ Мн/м}^2$), определяемый по ударным испытаниям надрезанных ($r=1\text{ мм}$) образцов сечением $10\times 10\text{ мм}$ (при сквозной прокаливаемости во всех случаях).
- 6 Ввиду недостаточного количества фактических данных некоторые значения, приведенные для критического диаметра и порога, являются ориентировочными.

мость до диаметра 20 мм и при некотором снижении порога хладноломкости (вероятнее всего, благодаря измельчению зерна при присадке хрома); тогда как марганец и кремний в большинстве случаев повышают порог хладноломкости.

Легирование другими элементами (кроме бора) хромистой стали повышает прокаливаемость. Для сечений диаметром 20-

40мм, кроме стали 40ХР, можно применять стали других марок из группы III. Стали этой группы дополнительно легированы марганцем, молибденом, кремнием, титаном. Все перечисленные элементы углубляют прокаливаемость и все, кроме молибдена, уменьшают запас вязкости (порог хладноломкости

в сталях 40X, 40XГ и 40XГР лежит соответственно в интервалах:

(0) + (-100°C); (+20) - (-60°C); (+40) + (-60°C).

В этой группе выделяется по вязкости сталь 30ХМ. Хотя прокаливаемость у нее не намного выше, чем у стали 40X, но порог хладноломкости ниже; кроме того, сталь 30ХМ нечувствительна (как и другие молибденовые стали) к отпускной хрупкости 2-го рода.

В следующую группу вошли никелевые стали, содержащие около 1-1,5% Ni. Как уже говорилось, никель, в отличие от других элементов, одновременно углубляет прокаливаемость и снижает порог хладноломкости. Для сечений диаметром до 40-70 мм можно рекомендовать применение сталей, приведенных в группе IV.

Сравнивая стали 40ХН, 40ХНР, 40ХГНР, видим, как добавка бора и марганца, углубляя прокаливаемость, одновременно снижает запас вязкости. Наилучшей по прокаливаемости и запасу вязкости в этой группе сталей является сталь 40ХНМ, что

объясняется влиянием комплексом легирования (Сг + Ш + Мо) и более высоким содержанием никеля по сравнению с другими сталями этой группы.

16.3.5 Пружинная сталь.

Работа пружин, рессор и тому подобных деталей характеризуется тем, что в них используются только упругие свойства стали. Большая суммарная величина упругой деформации пружины (рессоры и др.) определяется ее конструкцией - числом и диаметром витков, длиной пружины и т.д. Поскольку возникновение пластической деформации в пружинах не допускается, то от материала подобных изделий не требуется высокая ударная вязкость, высокая, пластичность. Главное требование состоит в том, чтобы сталь имела высокий предел упругости (текучести). Это достигается закалкой с последующим отпуском при температуре в районе 300-400°C. При такой температуре отпуска предел упругости (текучести) получает наиболее высокое значение, а то, что эта температура лежит в интервале развития отпускной хрупкости 1-го рода, в силу отмеченного выше не имеет большого значения.

Пружины, рессоры и подобные им детали изготавливают из конструкционных сталей с повышенным содержанием углерода (но, как правило, все же более низким, чем у инструментальных сталей) - приблизительно в пределах 0,5-0,7% С, часто с добавками марганца и кремния. Для особо ответственных пружин применяют сталь 50ХФ, содержащую хром и ванадий и обладающую наиболее высокими упругими свойствами.

16.3.6 Шарикоподшипниковая сталь.

Шарикоподшипниковая сталь прежде всего должна обладать высокой твердостью, поэтому применяются высокоуглеродистые стали типа инструментальной (иногда низкоуглеродистые в цементованном состоянии). Чтобы шарикоподшипниковая сталь легко принимала закалку (т.е. имела низкую критическую скорость закалки) и в качестве закалочной среды для нее можно было применять масло, сталь легируют (обычно хромом). По своей природе хромистые стали близки к углеродистым сталям с 1% С.

К шарикоподшипниковым сталям предъявляют весьма высокие требования в отношении чистоты по неметаллическим включениям и карбидной ликвации. Дело в том, что нагрузка в шарикоподшипнике является локальной, и если в точках касания шарика (ролика) и кольца при загрязненности или неоднородности стали окажется то ли иное включение, то может происходить местное разрушение (выкрашивание), а вследствие этого долговечность работы подшипника резко снизится. Поэтому каждая плавка в любом профиле проката тщательно контролируется на наличие пористости, неметаллических

включений, на карбидную ликвацию, строчечность, сетку. Для всех этих дефектов составлены шкалы (четырёх и пятибалльные системы), по которым оценивается пригодность стали.

Для очень крупных роликовых подшипников диаметром от 0,5 до 2 м (и ря колец, и для роликов) применяют сталь 20Х2Н4А. Ролики и кольца, изготовленные из этой стали, подвергаются цементации на очень большую глубину (глубина цементации 5-6 мм, продолжительность цементации 120-160 ч) и затем сложной термической обработке, в конечном итоге приводящей к структуре: на поверхности - мартенсит + карбиды, в

центре - малоуглеродистый мартенсит.

Для подшипников, работающих в химически агрессивных средах, наибольшее применение получила сталь X18 (0,9-1,0% C; 17-19% Cr, остальные - Mn, Si, S, P и др. в обычных пределах). Высокое содержание хрома необходимо для придания стали высокого сопротивления коррозии. Сталь обладает высокой коррозионной стойкостью в пресной и морской воде, в растворах азотной и уксусной кислот, в различных органических средах, но имеет плохую стойкость в смеси азотной и серной кислот.

Термическая обработка для получения наивысшей в данной стали твердости и достаточной стабильности в размерах заключается в закалке от 1050°C в масле, обработке холодом при - 70°C и отпуске при 150-160°C. Твердость после такой обработки 60-61HRC.

Подшипники, подвергаемые в процессе эксплуатации значительным нагревам (до 400-500°C), изготавливают из сталей типа быстрорежущих. Обычно применяют сталь P9, но с пониженным содержанием углерода и ванадия. Снижение углерода необходимо для уменьшения карбидной ликвации, снижающей долговечность подшипника. Обработка такой стали производится по режимам термической обработки инструментов из быстрорежущих сталей.

16.3.7 Дефекты легированных сталей

Высокие механические свойства легированных сталей обеспечили им преимущественное применение по сравнению с углеродистыми во многих отраслях специального машиностроения (авиация, автомобилестроение, вооружение и др.). Вместе с тем в легированных сталях чаще появляются различные дефекты, иногда встречающиеся и в углеродистых сталях.

Часто при самом строгом соблюдении правильно установленных технологических режимов эти дефекты не поддаются полному устранению. Важнейшие из них: отпускная хрупкость, дендритная ликвация и флокены.

Дендритная ликвация. Появление дендритной ликвации обусловлено неравновесной кристаллизацией сплавов. Наличие в стали легирующих элементов увеличивает температурный интервал кристаллизации, затрудняет протекание диффузионных процессов и способствует развитию явлений дендритной ликвации, так как увеличивает разницу в концентрациях между ранее и позднее выпавшими из жидкости кристаллами.

Если же сталь охлаждается меренно, то водород успевает продиффундировать из раствора и удалиться совсем из стали. В результате сталь становится нечувствительной к флокенообразованию.

Таким образом, одной из главных причин образования фло-кенов можно считать

растворенный в стали водород, который не успевает выделиться при температурах ниже 200°C.

Флокены редко образуются в литой стали, так как выделившийся из раствора водород скапливается в многочисленных литейных порах и неплотностях литого металла.

Флокены можно устранить последующей ковкой (прокаткой) на меньший размер, так как при этом трещины (флокены) завариваются. Флокены редко обнаруживаются в малых сечениях (диаметром 25-30 мм).

16.4 Инструментальные стали

Основным требованием, предъявляемым к стали режущего инструмента, является сохранение режущей кромки в течение длительного времени. В работе режущее лезвие инструмента тупится, изнашивается. В отличие от изнашивающихся частей деталей машин (валы, кулачки и т.д.) у режущего шк инструмента работает на износ очень тонкая полоска металла при значительных удельных давлениях на нее. Чтобы эта полоска металла была устойчива против истирания, она должна иметь высокую твердость, как правило выше 60 HRC.

Если обрабатывается мягкий материал (дерево, пластмассы, цветные металлы), или при обработке стали и чугуна применяются малые скорости резания и стружка имеет малое сечение, то в единицу времени на процесс резания затрачивается мало энергии. Если обработка идет при больших скоростях резания, обрабатываются твердые металлы и стружка имеет большое сечение, то в этих случаях в единицу времени затрачивается много энергии. Механическая энергия в процессе резания превращается в тепловую, при тяжелых условиях резания режущая кромка инструмента сильно нагревается (до красного каления). Для такого инструмента главное требование - сохранение твердости при длительном нагреве, т.е. сталь должна обладать красностойкостью.

Условия работы измерительного инструмента в известной мере приближаются к условиям работы режущего инструмента при легких режимах резания, отличие составляют лишь значительно меньшие удельные давления на рабочей поверхности.

Сталь в штампах испытывает значительные тепловые и ударные нагрузки, распределенные по сравнительно большой поверхности. Здесь большую роль играет вязкость. Наилучшей сталью является та, у которой при температурах, соответствующих условиям работы штампа, имеется наилучшее сочетание твердости и вязкости.

Для разных видов инструмента применяют стали разного типа.

Инструментальные стали разделяются на четыре категории:

1) пониженной прокаливаемости™
(преимущественно углеродистые);

2) повышенной прокаливаемости™
(легированные);

3) штамповые;

4) быстрорежущие.

В особую группу инструментальных материалов входят так называемые твердые сплавы, применяемые для инструмента, работающего на особо высоких скоростях резания.

Углеродистые и легированные стали применяются для режущего инструмента при

легких условиях работы и для измерительного инструмента. Быстрорежущие стали идут на изготовление режущего инструмента, работающего при повышенных режимах.

16.4.1 Инструментальные стали пониженной прокаливаемости™

В эту группу входят все углеродистые инструментальные стали, а также стали с небольшим содержанием легирующих элементов и поэтому не сильно отличающиеся от углеродистых по прокаливаемости™. Важнейшее технологическое свойство -

слабая прокаливаемость - объединяет эти стали в одну группу.

Все стали этой группы должны закаливаться в воде и инструмент из этих сталей имеет, как правило, незакаленную сердцевину. Это следует учесть при выборе стали на инструмент, при его конструировании, проведении термической обработки и эксплуатации (например, закалка в воде требует, чтобы были приняты меры против сильного коробления; при конструировании надо избегать острых углов и резких переходов сечений и т.д.)

Состав инструментальных сталей пониженной прокаливаемости[™] указан в табл.16.3.

Марка стали	C	Mn	Cr	V
У7	0.65-	0,20-0,40		-
У8	0,75-	0,15-0,40	50,15	-
У9	0.85-	0,15-0,35	50,15	-
У10	0.95-	0,15-0,35	50,15	-
У11	1.05-	0,15-0,35	50,15	-
У12	1.15-	0,15-0,35	50,15	-
У13	1.25-	0,15-0,35	50,15	-
Х05	1.25-	0,20-0,40	50,15	-
Х06	1.05-	0,40-0,70	50,15	-
65ХФ	0.6-0.7	0.3-0.6	0.45-0.7	0.15-
85ХФ	~	~ 0.3-0.6	0.45-0.7	0.15-

Примечание.

Во всех перечисленных сталях ограничивается содержание кремния 0,30-0,35%, никеля <0,2%, серы и фосфора <0,02% в высококачественной (группа А) и <0,03% в качественной сталях.

Таблица 16.3 - Состав инструментальных сталей пониженной прокаливаемости, %

Как видно из таблицы, углеродистые инструментальные стали подразделяются на марки У7, У8, У9, У10, У11, У12, У13.

Буква У показывает, что эта сталь углеродистая, цифра - среднее содержание

Группа	Марка стали	C	Mn	Si	Cr	W	V
I	Х	0.95-1.1	<0.4	<0.35	1.3-1.6		
	9ХС	0.85-0.95	0.3-0.6	1.2-1.6	0.95-1.25		
II	ХГСВФ	0.95-1.02	0.2-1.0	0.2-1.0	0.6-1.0	0.8-1.1	0.08-0.15
	ХГ	1.3-1.5	0.45-0.7	<0.35	1.3-1.6		
	ХВГ	0.9-1.0	0.8-1.0	0.15-0.35	0.9-1.2	1.2-1.6	
III	В1	1.05-1.25	0.2-0.4	<0.35	0.10-0.30	0.8-1.2	
	ХВ5	1.25-1.5	<0.3	<0.30	0.40-0.70	4.5-5.5	0.15-0.30

углерода в десятых долях процента (значит, сталь У7 содержит около 0,7% С, У8 - около 0,8% С и т.д.)

В нижней части таблицы приведены легированные стали, отличающиеся некоторым повышением содержания марганца и введением около 0,5% Сг (стали марок Х06, Х05, 85 ХФ).

Наиболее мягкой и вязкой сталью из перечисленных в таблице 15.3 является сталь У7А, поэтому она применяется для инструмента, подвергающегося в работе толчкам и ударам, твердость остальных сталей в

закаленном состоянии не зависит от содержания углерода. Однако износостойчивость с повышением содержания углерода возрастает, что объясняется наличием избыточного цементита, вкрапленного в мартенсит.

Примерное назначение углеродистых сталей различных марок таково.

Сталь У7 - для инструментов, подвергающихся ударам и толчкам и требующих вязкости при умеренной твердости, например, ря зубил, кузнечных штампов, кузнечного инструмента, клейм.

Сталь У8 - ря инструментов, подвергающихся ударам и требующих хорошей вязкости при высокой твердости, например матрицы, пуансоны, ножницы и ножи по металлу, столярный инструмент, пневматический инструмент.

Сталь У9 и У10 - для инструментов, не подвергающихся сильным ударам при максимальной твердости на режущей грани, например металлорежущий инструмент - сверла, метчики, развертки, резцы, фрезы, монетные штампы, бурильный инструмент, медицинский инструмент, ножи ря резки бумаги и кожи и т.д.

Сталь У12 и У13 - для инструментов с максимальной износостойкостью при наивысшей твердости, например резцы, различный металлорежущий и мерительный инструмент, напильники, зубила для насечки напильников, граверный инструмент, волочильные доски и т.д.

16.4.2 Инструментальные⁴ стали повышенной прокаливаемости^{™ 1} (легированные инструментальные стали)

В эту классификационную группу входят стали, содержащие легирующие элементы в количестве 1-3% и поэтому обладающие повышенной прокаливаемостью. Инструмент из этих сталей закаливается в масле (или при ступенчатой закалке - в соли) и прокаливается, как правило, насквозь.

Меньшая скорость охлаждения при закалке уменьшает опасность образования трещин, деформации и коробления, к чему так склонны углеродистые инструментальные стали, что очень важно для многих видов инструментов, имеющих сложную конфигурацию.

Применение для легирования разных элементов позволяет также решать такие задачи, как повышение твердости, износостойчивости или устойчивости против отпуска. В соответствии с этим легированные инструментальные стали подразделяются на три группы (таблица 16.4).

Таблица 16.4 - Состав инструментальных сталей повышенной прокаливаемости, %

В I группу входят обычные легированные инструментальные стали, в которых присадка 1,0-1,5% Сг обеспечивает повышение прокаливаемости со всеми вытекающими из этого следствиями, о которых только что говорилось. Добавка кремния дает некоторое дополнительное увеличение прокаливаемости, а также повышает устойчивость против отпуска, что обеспечивает лучшую работоспособность инструмента.

Вторая группа легированных сталей характеризуется повышенным содержанием марганца (при нормальном содержании кремния). Это приводит при закалке к увеличению количества остаточного аустенита и уменьшению деформации; поэтому эти стали можно назвать малодеформирующимися инструментальными сталями. Конечно, стали I группы (X, 9XC, XГCBФ) деформируются при закалке значительно меньше, чем

углеродистые, так как они закаляются в масле, а не в воде, но стали II группы (XГ, ХВГ).

В третью группу входят высокотвердые стали, легированные вольфрамом, из которых сталь ХВ5 называется алмазной. Из-за худшей прокаливаемости по сравнению со сталями групп I и II эти стали можно отнести к категории сталей пониженной прокаливаемости.

16.4.3 Быстрорежущие стали

Под быстрорежущими понимаются стали, предназначенные для изготовления режущего инструмента, работающего при высоких скоростях резания. Быстрорежущая сталь должна в первую очередь обладать высокой горячей твердостью и красностойкостью.

Прежде чем изучать свойства и термическую быстрорежущих сталей, ознакомимся с условиями работы этой стали как материала, из которого сделан инструмент. Возьмем наиболее простой инструмент - резец (хотя наши рассуждения в общих чертах справедливы и для других видов режущих инструментов). На отделение стружки от обрабатываемой детали затрачивается определенная механическая работа, которая в процессе резания превращается в тепло. Это тепло нагревает обрабатываемый предмет, стружку, резец и частично рассеивается в атмосфере.

При обработке резанием тело обрабатываемого изделия истирает заднюю поверхность резца, а стружка переднюю, сбегая по ней. Истирание задней поверхности при обработке стали незначительно, на передней поверхности стружка интенсивно вырабатывает лунку. В определенный момент перемишка между задней и передней поверхностями резца не выдерживает давления стружки - происходит разрушение режущей кромки и мгновенная посадка резца. Продолжительность работы резца зависит от того, насколько быстро вырабатывается лунка, а это зависит от износостойкости быстрорежущей стали в нагретом состоянии и от степени нагрева резца. Температура разогрева инструмента зависит от условий резания. Чем производительнее работает инструмент, чем больше стружки он снимает в единицу времени, чем выше сопротивление материала отделению стружки, тем сильнее разогревается его режущая часть. В наиболее нагретой части резца температура достигает 600-700°C. Если под действием этой температуры сталь инструмента не размягчается, инструмент долгое время сохраняет износостойкость и режущие свойства.

Чтобы сталь устойчиво сохраняла твердость при нагреве, нужно ее легировать такими элементами, которые затрудняли бы этот процесс коагуляции карбидов.

Если ввести в сталь какой-нибудь карбидообразующий элемент в таком количестве, что он образует специальный карбид, то красностойкость скачкообразно возрастет. Дело в том, что специальный карбид выделяется из

мартенсита и коагулирует при гораздо более высоких температурах, чем карбид железа. Практически заметная коагуляция специальных карбидов хрома, вольфрама, молибдена или других элементов

происходит при температурах выше 500° С.

Таким образом, красностойкость создается легированием стали карбидообразующими элементами (W, Mo, Cr, V) в таком количестве, при котором они связывают почти весь углерод в специальные карбиды.

Наиболее распространенной быстрорежущей сталью является сталь Р18, содержащая 0,7% С; 18% W; 4% Cr и 1% V.

Все быстрорежущие стали обозначаются буквой Р (рапид - скорость), цифры после этой буквы показывают содержание основного легирующего элемента - вольфрама, при высоком содержании ванадия среднее содержание его также отмечается в марочном обозначении цифрой после буквы Ф, а содержание кобальта буквой К и соответствующими цифрами. Хрома во всех сталях содержится около 4%, а углерода - в соответствии с содержанием ванадия (чем больше ванадия, тем больше углерода).

Как уже отмечалось, сталь Р18 - наиболее распространенная, универсальная марка быстрорежущей стали.

нагретым металлом, поэтому штамповая сталь для горячей штамповки должна обладать не только определенными механическими свойствами в холодном состоянии, но и достаточно высокими механическими свойствами в нагретом состоянии. Особенно желательно иметь высокий предел текучести (пропорциональности), чтобы при высоких

Марка стали	Сг	W	V	Со
Р9	0,85-1,4	3,8-4,4	17,5-8,5	1,0-1,4 2 по Б
Р9Ф5	1,4-1,5	3,8-4,4	17,5-9,0	1,0-1,4 4,3-5,1
Р14Ф4	1,2-1,3	4,0-4,6	13,0-3	4-4, 11
Р18Ф2	0,85-1,0	3,8-4,4	17,5-9,0	1,8-2,4
Р9К5	0,9-1,0	3,8-4,4	17,5-9,0	2,0-2,6 5,0-
Р9К10	0,9-1,0	3,8-4,4	17,5-9,0	2,0-2,6 11 5-
Р10К5Ф5		4,0-4,6	10,5-4,3	5,1 5,0-6,0
Р18К5Ф2	0,85-1,0	3,8-4,4	17,5-9,0	1,8-2,4 1 5,0-6,0

Примечание.

Содержание постоянных и случайных примесей ограничено в этих сталях следующими пределами, %: 0,4Mn; 0,4Si; 0,5Mo; 0,4Ni; 0,03S; 0,003P.

Таблица 15.5 - Состав быстрорежущих сталей, %

15.4.4 Штамповые стали

Для обработки металлов давлением применяют инструменты - штампы, пуансоны, ролики, валики и т.д., деформирующие металл. Стали, применяемые для изготовления инструмента такого рода, называются штамповыми сталями (по виду наиболее распространенного инструмента).

Штамповые стали делятся на две группы: деформирующие металл в холодном состоянии и деформирующие металл в горячем состоянии. Условия работы стали при различных видах штамповки сильно различаются между собой.

При штамповке в горячем состоянии штампуемый металл под действием сближающихся половинок штампа деформируется и заполняет внутреннюю полость штампа. В работе внутренняя полость штампа ("фигура"), которая деформирует металл, соприкасается с

давлениях штамп не деформировался. Для кузнечных штампов большое значение имеет и вязкость, чтобы штамп не разрушился во время работы при ударах по деформируемому металлу. Устойчивость против износа во всех случаях очень важна, так как она обеспечивает сохранение размеров "фигуры" -долговечность работы штампа.

Для прессового инструмента, работающего без ударов, большое значение имеет износостойкость в горячем состоянии и относительно меньшее - вязкость. Поэтому для молотовых штампов и ря прессового инструмента применяют стали различных марок.

Для штамповки в холодном состоянии сталь, из которой изготавливают штампы, обычно должна обладать высокой твердостью, обеспечивающей устойчивость против истирания, хотя и вязкость, особенно ря пуансонов, имеет также первостепенное значение.

Сталь ря "горячих штампов" должна иметь как можно меньшую чувствительность к местным нагревам. В недостаточно вязкой (пластичной) стали, например, в плохо отпущенной, местный нагрев может привести к образованию трещин.

Еще в более тяжелых условиях работы находится сталь в штампах (пресс-формах) ря литья под давлением. Нагрев рабочей поверхности формы расплавленным металлом и охлаждение водой внутренних частей формы вызывают значительные тепловые напряжения. Сталь, применяемая ря пресс-форм, должна быть также достаточно износостойка. Иметь высокие механические свойства в нагретом состоянии и хорошо сопротивляться разъеданию поверхности формы расплавленным металлом.

Кроме перечисленных свойств, от стали, из которой изготавливают штампы больших размеров, требуется повышенная прокаливаемость. Сталь, применяемая ря штампов и пуансонов сложных конфигураций, должна мало деформироваться при закалке.

Ввиду многочисленных и разнообразных требований, предъявляемых к штампам в зависимости от их назначения, применяются стали различных марок, начиная от простых углеродистых и кончая сложно-легированными.

Широкое применение ря холодных штампов и других инструментов, деформирующих металл в холодном или относительно невысоко нагретом состоянии (накатные плашки и ролики, фильеры ря волочения и др.), получили высокохромистые стали (12% Cr при 1-1,5% C), обладающие высокой износоустойчивостью, повышенной теплостойкостью, малой деформируемостью при термической обработке и некоторыми другими особыми свойствами.

Переходим теперь к рассмотрению сталей, применяемых ря изготовления горячих штампов, деформирующих металл в горячем состоянии. От металла ря горячих штампов требуется

следующий комплекс свойств.

Жаропрочность. Металл горячих штампов должен обладать высоким пределом текучести и высоким сопротивлением износу при высоких температурах, чтобы замедлить процессы истирания и деформирования элементов фигуры штампа, разогревающихся от соприкосновения с горячим металлом.

Красностойкость. Высокие жаропрочные свойства не

должны снижаться под рительным воздействием температуры, металл горячих штампов должен устойчиво сопротивляться отпуску.

Термостойкость. Циклический нагрев и охлаждение поверхности штампа во время работы и, следовательно, чередующееся расширение и сжатие поверхностных слоев приводят к появлению так называемых разгарных трещин. Материал штампа должен обладать высокой разгаростойкостью или, как чаще называют, термостойкостью или высоким сопротивлением термической усталости.

Вязкость. Деформирование металла при штамповке сопровождается ударным воздействием этого металла на штампы, поэтому металл штампов должен обладать известной вязкостью - особенно при штамповке на молотах, когда приходится достигать нужного повышения вязкости даже за счет некоторого снижения жаропрочности.

Прокаливаемость. Многие штампы имеют весьма большие размеры (например, кубики ковочных штампов имеют размеры 500 x 500 x 1000 мм и т.п.). Для получения хороших свойств по всему сечению, в частности достаточной вязкости, сталь штампов должна глубоко прокаливаться.

Отпускная хрупкость. Так как быстрым охлаждением штампов крупных размеров нельзя устранить отпускную хрупкость, то сталь должна быть минимально чувствительной к этому пороку.

Слипаемость. При значительном давлении горячий металл может как бы прилипнуть к металлу штампа (явление адгезии), и когда штампуемое изделие отдирается от штампа, то оно всякий раз частично разрушает его поверхность. Это явление разрушения будет тем сильнее выражено, чем сильнее адгезионное взаимодействие штампуемого металла и металла штампа. Поэтому подобное взаимодействие штамповой стали с металлом изделия должно быть минимальным.

Для штампов, работающих в легких условиях (к легким условиям работы следует отнести штамповку с малыми удельными давлениями на поверхность штампа, например, штамповку при малых степенях деформации, штамповку деталей из мягких и пластичных сплавов) применяют углеродистые стали с содержанием углерода от 0,6 до 1,0%, т.е. стали марок У7, У8 и У9. Наибольшее применение при изготовлении штампов имеет сталь У7.

Следует, однако, сказать, что в современных условиях углеродистая сталь мало применима для штампов, так как штамповка производится с большой интенсивностью, и штампы из углеродистой стали не будут обладать достаточной стойкостью в работе.

Для более тяжелых условий работы применяют легированные стали.

16.4.5 Твердые сплавы.

В настоящее время для скоростного резания

металлов применяют инструмент, оснащенный твердыми сплавами.

Твердый сплав является металлокерамическим. Для изготовления твердых сплавов порошки карбидов вольфрама и титана смешивают со связующим веществом (обычно таким связующим веществом является кобальт), прессуют в формах и тем самым придают изделию соответствующую внешнюю

форму, затем прессовки подвергают спеканию при высокой температуре (1500-2000°C). В результате получается изделие, состоящее из карбидных частиц, связанных кобальтом. Такая технология не обеспечивает получения совершенного плотного изделия, в нем имеются поры, занимающие объем до 5%.

Твердость металлокерамических твердых сплавов очень высока, так как эти сплавы состоят на 90-95% из карбидов (остальное - кобальтовая связка) - веществ, обладающих исключительно высокой твердостью, поэтому спеченные детали из твердых сплавов нельзя подвергать никакой другой механической обработке, кроме шлифования. Инструмент не изготавливают целиком из твердого сплава - из него изготавливают лишь режущую часть; пластинка из твердого сплава тем или иным способом прикрепляется к державке, изготовленной из обычной конструкционной или инструментальной стали.

Подобным образом сейчас изготавливают резцы и многие другие металлорежущие инструменты высокой производительности (фрезы, сверла и др.).

16.5 Стали и сплавы с особыми физическими свойствами.

16.5.1 Жаростойкие и жаропрочные стали и сплавы.

Под жаростойкими (окалиностойкими) сталями и сплавами понимаются стали и сплавы, обладающие стойкостью против химического разрушения поверхности в газовых средах при температурах выше 550°C и работающие в ненагруженном или слабонагруженном состоянии.

Под жаропрочными сталями и сплавами понимаются стали и сплавы, работающие в нагруженном состоянии при высоких температурах в течение определенного времени.

В последние годы в технике широко применяют повышенные температуры, давления и напряжения.

Установлено, что при высоких температурах металл ведет себя во многих отношениях иначе, чем при нормальных или даже при 300-350°C.

Естественно поэтому, что в металловедении особое внимание начали уделять жаростойким и жаропрочным сталям и специальным сплавам, предназначенным именно для работы при высоких температурах.

16.5.2 Жаростойкость.

Жаростойкость (окалиностойкость) характеризует сопротивление металла окислению при высоких температурах.

Начальная стадия окисления стали - чисто химический процесс. Но дальнейшее течение окисления - уже сложный процесс, заключающийся не только в химическом соединении кислорода и металла, но и в диффузии атомов кислорода и металла через многофазный

окисленный слой. При плотной окисной пленке скорость нарастания толщины окалины определяется скоростью диффузии атомов сквозь окалину, что, в свою очередь, зависит от температуры и строения окисной пленки.

Железо с кислородом образует ряд химических соединений: FeO (вюстит), Fe₃O₄ (магнетит) и Fe₂O₃ (гематит). Строение слоя находится в соответствии с изотермическим разрезом соответствующей диаграммы состояния при температурах диффузии. При температурах ниже эвтектоидной (570°C) окисленный слой состоит из двух зон окислов: Fe₂O₃ и Fe₃O₄.

Кристаллическая структура этих окислов сложна и скорость диффузии в них мала.

При температурах выше 570°C структура окалины состоит из трех окислов: Fe_2O_3 , Fe_3O_4 и FeO , причем основным слоем окалины является окись FeO . Скорость окисления возрастает при переходе через эвтектидную температуру (570°C), что является следствием более ускоренной диффузии атомов сквозь простую кристаллическую решетку вюстит, кристаллизующегося, как и фазы внедрения, с дефицитом в неметаллических атомах (кислорода).

Для повышения окалиностойкости сталь легируют элементами, которые благоприятным образом изменяют состав и строение окалины. Так, в результате введения в сталь соответствующих количеств хрома, алюминия или кремния, обладающих большим сродством к кислороду, чем железо, в процессе окисления на поверхности образуются плотные окислы - Cr_2O_3 , Al_2O_3 или SiO_2 , диффузия сквозь которые происходит с трудом. Образовавшаяся тонкая пленка из этих окислов затрудняет процесс дальнейшего окисления.

Чем выше будет в стали содержание хрома, алюминия или кремния, тем выше окалиностойкость стали и тем выше может быть рабочая температура. При рабочей температуре 900°C для достаточной окалиностойкости сплав (сталь) должен содержать не менее 10% Cr, а при рабочей температуре 1100°C - не менее 20-25% Cr.

16.5.3 Жаропрочность

Жаропрочность - это способность материала противостоять механическим нагрузкам при высоких температурах.

Напряжение, которое вызывает разрушение металла при повышенных температурах, сильно зависит от длительности приложения нагрузки. Оно может быть велико при кратковременном приложении нагрузки и мало, если нагрузка действует длительное время.

Вместе с тем, чем выше температура металла, тем ниже будут и разрушающие напряжения при данной длительности действия нагрузки. Следовательно, в общем случае прочность металла определяется двумя факторами - температурой и временем.

16.5.4 Оценка жаропрочных свойств

Жаропрочные свойства материала не могут быть охарактеризованы каким-либо одним параметром, так как требования, которые предъявляются к жаропрочным материалам, разнообразны.

В настоящее время приняты следующие характеристики жаропрочности.

Предел ползучести ($\sigma^{\text{д}}$) - напряжение, вызывающее заданную скорость деформации при данной температуре. Например, предел ползучести может характеризоваться напряжением, вызывающим суммарную

деформацию в 1% за 300 ч.

Длительная прочность ($\sigma^{\text{д}}$) - напряжение, вызывающее разрушение при данной температуре за данный отрезок времени.

16.5.5 Классификация жаропрочных материалов

Следует помнить, что определенные при данной температуре

механические свойства разных сплавов не должны обязательно сохраняться в том же соотношении при других температурах. Конструктор, выбирая марку материала, должен знать,

что данный сплав является оптимальным по прочностным свойствам в рабочем интервале температур. Ниже 300°C наибольшую прочность имеют простые конструкционные стали, обработанные на высокую прочность. Явление ползучести при температурах ниже 350-300°C не наблюдается, так что при рабочих температурах ниже 300°C нет необходимости в применении каких-либо специальных жаропрочных сталей и сплавов.

Для работ в интервале 350-500°C оптимальными по свойствам являются сравнительно слаболегированные стали перлитного и ферритного классов. С повышением температуры до 500-650°C прочность сталей этого типа резко падает, уступая сталям аустенитного класса, а при 650-900°C стали аустенитного класса уступают первое место высоколегированным кобальтовым и никелевым сплавам. При температурах выше 900°C на первое место выходят сплавы тугоплавких металлов (молибдена, хрома и др.). Указанные пределы являются ориентировочными.

16.5.6 Перлитные жаропрочные стали.

В этом параграфе будут кратко рассмотрены стали, применяемые главным образом в котлостроении (кроме аустенитных котельных сталей, которые рассматриваются в следующем параграфе) для изготовления паропроводов, пароперегревателей, крепежных и других деталей, подвергаемых длительным механическим воздействиям при умеренно высоких температурах - не выше 500-550°C, собственно перлитного класса, а также мартенситного (бейнитного) и ферритного. Общим для всех сталей является то, что их основой является твердый раствор α , а избыточной фазой - карбиды разной структуры и происхождения.

Поскольку детали котельных установок работают длительное время без смены (десятки тысяч часов) и не должны давать за это время заметной деформации, предел ползучести с деформацией 1% за 10 000 ч или даже за 100 000 ч является для них главной характеристикой.

Стали перлитного класса являются сравнительно малолегированными сталями, которые при 0,12% C содержат 0,5 или 1% Cr и 0,3 или 0,5 Mo. Присадка ванадия измельчает зерно, а также повышает жаропрочность. После охлаждения изделий на воздухе получается перлитная структура с карбидом МЗС, после закалки в масле - мартенсит-бейнит. Обычный режим термической обработки - закалка в масле или нормализация с последующим отпуском (в обоих случаях) при 720-750°C ($A_{c1} = 760^\circ\text{C}$). Стали перлитного класса, как не содержащие большого количества хрома, естественно, не обладают высокой жаростойкостью и их нельзя применять при

температурах выше 550-580°C.

Увеличение содержания хрома повышает жаростойкость и переводит стали в мартенситный класс. Для сталей этого класса закалка на воздухе или в масле возможна в равной степени. После закалки необходим высокий отпуск при температуре, превышающей рабочую.

Благодаря высокому содержанию в стали хрома повышается не только окалиностойкость, но и жаропрочность вследствие повышения температуры рекристаллизации и образования специальных карбидов (М22С6), мереннее

коагулирующих, чем цементит (МЗС).

Присадка вольфрама, молибдена, ванадия в стали с 12% Сг ведет к повышению жаропрочности.

Если нет особых требований к свариваемости, то можно применять высокохромистые стали с высоким содержанием кремния, так называемые силхромы.

Силхромы - это стали, применяемые для клапанов выпуска тракторных, мотоциклетных и автомобильных двигателей. Сопротивление окислению у силхромов повышено высоким содержанием хрома и кремния. Начало интенсивного окисления у стали Х10С2М-900°С.

Жаропрочные свойства силхромов растут с увеличением степени легированности.

Термическая обработка силхромов состоит в закалке и отпуске. Так как хром и кремний сильно повышают критические точки, то закалка и отпуск производятся от более высоких, чем для обычных конструкционных сталей, температур: закалка от 1000-1050°С, отпуск при 750-780°С.

16.5.7 Аустенитные жаропрочные стали.

Аустенитные жаропрочные стали применяют для клапанов двигателей, лопаток газовых турбин и других "горячих" деталей реактивных двигателей - в основном для работы при 500-700°С.

Все аустенитные жаропрочные стали имеют большое содержание хрома и никеля, а также добавки других элементов.

Аустенитные жаропрочные стали обладают рядом общих свойств - высокой жаропрочностью и окалиностойкостью, большой пластичностью, хорошей свариваемостью, большим коэффициентом линейного расширения. Тем не менее по сравнению с перлитными и мартенситными сталями они менее

технологичны: обработка давлением и резанием этих сплавов затруднена; сварной шов обладает повышенной хрупкостью; полученное вследствие перегрева крупнозернистое строение не может быть исправлено термической обработкой, так как в этих сталях отсутствует фазовая перекристаллизация. Аустенитные стали могут быть разделены на две группы.

1. Аустенитные стали, не упрочняемые термической обработкой, т.е. не склонные к дисперсионному твердению (условно назовем их гомогенными, хотя на самом деле они содержат вторые фазы, но в количествах, не вызывающих сильного эффекта старения).

2. Аустенитные стали, упрочняемые термической обработкой и применяемые в состоянии закалка + отпуск. Упрочнение создается благодаря выделению карбидных, карбонитридных или интерметаллических фаз. Способность к старению обусловлена наличием некоторых элементов (кроме хрома и никеля) в количествах, превосходящих предел растворимости.

Хром и никель - основные легирующие компоненты этих сталей. Первый определяет окалиностойкость, а никель - устойчивость аустенита. При недостатке никеля возможно частичное образование б-фазы, что ведет к ухудшению жаропрочности.

Стали первой (гомогенной) группы применяются как жаропрочные и как нержавеющие, поэтому более подробно они будут описаны в разделе "Коррозионностойкие стали", здесь же мы ограничимся данными об их окалиностойкости и жаропрочности (таблица 16.6).

Типовая термическая обработка состоит в нагреве до 1050-1100°С с последующим охлаждением в воде или на воздухе,

OX18H12Б

Примечание.

Стали содержат 1-2% Мп (кроме 4Х12Н8Г8МФБ и X25H16Г7AP, у которых 7,5-9,5% Мп и 5-7%); до 0,08%Si (кроме стали X25H20C2, в которой 2-3% Si), менее 0,02%S и 0,035%P. Стали с буквой Р в марочном обозначении содержат около 0,002% В.

Таблица 16.6 - Состав аустенитных жаропрочных сталей

после чего следует так называемая стабилизация (отпуск) при 750°C, приводящая к коагуляции имеющихся в этих сталях небольших количеств второй фазы (главным образом карбидов хрома типа M_3C_6) и стабилизации структуры.

Длительная выдержка при рабочих температурах (500-700°C) ведет к охрупчиванию стали из-за выделения избыточных фаз по границам зерен и образования так называемой 5-фазы (сигматизации), представляющей собой интерметаллид типа FeCr. Однако эти превращения идут весьма меренно.

Стали второй группы, в отличие от первой, нестабильны и склонны к упрочнению вследствие распада твердого раствора (вязкость при этом снижается).

Термическая обработка этих сталей состоит в закалке при 1050-1100°C в воде и отпуске-старении при 600-750°C. Этот отпуск-старение вызывает повышение твердости вследствие дисперсионного твердения; избыточные фазы при старении выделяются преимущественно по границам зерен.

16.5.8 Никелевые и кобальтовые жаропрочные стали

В современных турбинах и реактивных двигателях важнейшей деталью является лопатка турбины. Мощность реактивного двигателя в большей степени зависит от максимальной температуры рабочего тела (газа), при которой длительное время могут работать лопатки. В современных реактивных двигателях лопатки турбин разогреваются до 700-900°C, и имеется тенденция повышения этой температуры.

Для лопаток турбин применяют аустенитные стали и сплавы на основе никеля и кобальта.

Преимущественное применение имеют сплавы никеля, содержащие, как правило, хром (в количестве около 15-20%) и другие довольно многочисленные присадки, правда уже в значительно меньших количествах (Al, Ti, W, Mo, V и др.).

Как и аустенитные стали, сплавы на никелевой основе могут быть разделены на гомогенные (так называемые нихромы и инконели) и стареющие (так называемые нимоники).

Первые, т.е. нихромы, представляют сплавы никеля и хрома или никеля, хрома и железа с минимальным содержанием углерода и других элементов, которые могли бы образовывать вторые фазы. Структура этих сплавов представляет собой твердый раствор этих элементов в никеле (гранцентрированная кубическая решетка). Гомогенный твердый раствор не обладает высокой прочностью и жаропрочностью. Сплавы этого типа не применяются, как правило, для нагруженных деталей, т.е. не применяются как жаропрочный материал, а используются как материал высокой жаростойкости, а также как материал для электрических нагревательных элементов сопротивления.

Практически как высокожаропрочные сплавы применяются стареющие никелевые сплавы - нимоники, появившиеся в конце второй мировой войны. Появление их было вызвано развитием реактивной авиации, требовавшей жаропрочные сплавы для лопаток. Известные до того времени жаропрочные сплавы, в основном аустенитные стали, не удовлетворяли новым, возросшим требованиям в отношении жаропрочности.

Нимоник основного, "классического" состава представляет собой четвертый сплав Ni-Cr-Ti-Al (приблизительно 20%Cr, 1% Al и 2% Ti, остальное - Ni). Закалка от 1050-1150°C приводит к

образованию твердого γ-раствора с гранецентрированной кубической решеткой ($a = 3,57 \text{ \AA}$).

Высокая жаропрочность сплавов нимоник обеспечивается их высокой прочностью и малой скоростью разупрочнения.

Термическая обработка сплава нимоник, приводящая его в структурное состояние с максимальной жаропрочностью, заключается в воздушной закалке от $1100-1200^\circ\text{C}$ и отпуске-старении при $700-750^\circ\text{C}$ в течение 10-16 ч. Максимальная жаропрочность соответствует однородной крупнозернистой структуре и однородным, равномерно распределенным дисперсным образованиям у-фазы.

Разнозернистость (т.е. наличие крупных и мелких зерен), преимущественное выделение фаз по границам зерен, сохранение наклепа (например, наклепанного слоя, полученного при обработке резанием) ведет к снижению жаропрочности.

Первый, "старый" сплав ЭИ437 (так называемый нимоник 80) обладает наиболее низкой жаропрочностью в данной серии сплавов. Улучшение этого сплава в первую очередь достигается добавлением в малых количествах бора и церия (сплавы ЭИ437А и ЭИ437Б), что ведет к "очищению" границ зерен. Главная функция этих добавок - связать вредные примеси в тугоплавкие соединения.

Дальнейшее повышение жаропрочности достигается введением элементов, упрочняющих твердый раствор, - кобальта, молибдена, вольфрама (сплавы нимоник 90 и 100).

Приведенные сплавы являются основными ря "горячих" деталей газовых турбин (лопатки, диски и т.д.).

Наряду с никелевыми дисперсионно твердеющими сплавами, некоторое применение имеют железоникелевые (по своей природе близкие к сплавам типа нимоник, в которых никель примерно на половину заменен железом) и кобальтовые сплавы.

По жаропрочным свойствам железоникелевые сплавы не уступают, а кобальтовые превосходят сплавы на основе никеля (нимоники). Однако железоникелевые сплавы малопластичны, склонны к образованию трещин и других дефектов; сплавы же на основе кобальта очень дороги, а превосходство их по сравнению с лучшими сортами никелевых сплавов в отношении жаропрочных свойств не так уж велико.

Практически "потолок" ря применения никелевых сплавов - $950-1000^\circ\text{C}$, ря работы при более высоких температурах следует применять сплавы на иной основе.

воздействием внешней среды называется коррозией. Чистое железо и низколегированные стали неустойчивы против коррозии в атмосфере, в воде и многих других средах, так образующаяся пленка окислов недостаточно плотна и не изолирует металл от химического воздействия среды. Некоторые элементы повышают устойчивость стали против коррозии, и таким образом можно создать сталь (сплав), практически не корродирующую в данной среде.

При введении таких элементов в сталь (сплав) происходит не постепенное, а скачкообразное повышение коррозионной

16.6 Коррозионностойкие (нержавеющие) стали и сплавы

16.6.1 Коррозионная стойкость

Поверхностное разрешение металла под

стойкости. Не вдаваясь в подробности явлений, связанных с процессами коррозии и коррозионными разрушениями, укажем только, что введение в сталь 12% Сг делает ее коррозионно-стойкой в атмосфере и во многих других промышленных средах. Сплавы, содержащие более 12-14% Сг, ведут себя как благородные металлы: обладая положительным потенциалом, они не ржавеют и не окисляются на воздухе, в воде, в ряде кислот, солей и щелочей.

16.6.2 Хромистые нержавеющие стали.

Применяются хромистые нержавеющие стали трех типов: с 12,17 и 27% Сг, причем стали с 12% Сг в зависимости от требований имеют различное содержание углерода (от 0,1 до 0,4%).

Стали с 17-18 и 25-28% Сг имеют иногда небольшие добавки титана и никеля. Титан и никель вводят для измельчения зерна, а никель и для улучшения механических свойств.

Стали типа Х13 - распространенные и наиболее дешевые нержавеющие стали, они применяются для бытовых назначений и в технике (лопасти гидротурбин, лопатки паровых турбин). Стали эти хорошо свариваются. Стали с низким содержанием углерода (1Х13, 2Х13) пластичны, из них хорошо штампуются различные детали; стали 2Х13 и 4Х13 обладают высокой твердостью и повышенной прочностью. Из них изготавливают детали повышенной прочности и износоустойчивости при высокой коррозионной стойкости (различный инструмент, в том числе хирургический, подшипники, пружины и другие детали, работающие в активной коррозионной среде).

Стали с 17% Сг обладают более высокой коррозионной стойкостью. Ввиду высокого содержания хрома стали типа Х17 можно применять и как жаростойкие (окалиностойкие) в азотной кислоте при рабочих температурах не выше 900°C.

Присадки никеля к сталям с 17% Сг и повышение в них содержания углерода приводят к появлению у α -превращений. Однако подобное превращение в этой стали проходит не до конца, что тем не менее дает заметное упрочнение. В группе сталей с 17% Сг сталь Х17Н2 является высокопрочной и применяется там, где требуется повышенная прочность при коррозионных свойствах, присущих сталям с 17% Сг.

Стали с 25-28% Сг применяют для деталей печей (муфели, чехлы термопар, реторты) при температурах 1050-1150°C.

Большим недостатком этих сталей ферритного класса является то, что возникающая при перегреве (например, при сварке) крупнозернистость не может быть устранена термической обработкой, так как в этих сталях нет фазовых превращений. Крупнозернистость

же создает повышенную хрупкость стали.

Рост зерна в этих сталях несколько сдерживается при добавках титана и азота вследствие образования карбидов и нитридов титана, что положительно отражается на механических свойствах.

16.6.3 Хромоникелевые нержавеющие стали.

Введение достаточного количества никеля в 18%-ную хромистую сталь переводит ее в аустенитное состояние во всем диапазоне температур, что обеспечивает лучшие механические свойства, меньшую склонность к росту зерна, а также делает сталь более коррозионно-стойкой.

Нержавеющие стали 18% Сг и 9% Ni получили наиболее широкое распространение в машиностроении, в изделиях ши-

рокого потребления, а также в архитектуре и скульптуре.

Практически аустенит с 18% Сг и 8-10% Ш неустойчив, охлаждение его в области отрицательных температур или пластическая деформация при комнатной температуре вызовут образование мартенсита. В сплаве с 18% Сг и 10-12% Ni образование мартенсита можно вызвать лишь деформацией при температуре ниже 0°C, сплавы же с 18% Сг и > 14% Ni обладают совершенно стабильным аустенитом; ни охлаждение, ни деформация при низких температурах не вызовут образования α -фазы.

Хромоникелевые стали могут быть разделены на три класса:

Аустенитные стали - с устойчивым аустенитом.

Аустенитно-мартенситные стали (или стали так называемого переходного класса). В этих сталях при охлаждении на воздухе обычно образуется некоторое количество мартенсита. К этому же классу относятся и те стали, аустенит которых при охлаждении до комнатной температуры хотя и не дает признаков $\gamma \leftrightarrow \alpha$ -превращения, но все же неустойчив, так как при обработке холодом или под действием пластической деформации он превращается в мартенсит.

Аустенитно-ферритные стали, имеющие структуру $\gamma \pm \alpha$. Аустенит в этих сталях может быть устойчивым и неустойчивым.

В хромоникелевых нержавеющих сталях могут образовываться специальные карбиды, преимущественно типа $M_{23}C_6$. Образование карбидов может происходить здесь при содержании углерода > 0,04% (0,04% - предел растворимости в аустените). При дополнительном легировании этих сталей титаном и ниобием последние могут образовывать специальный карбид типа MC. Чем больше будет отношение содержания титана или ниобия к углероду, тем больше будет образовываться карбида типа MC и меньше карбида типа $M_{23}C_6$. Если соотношение Ti и Nb к углероду выше известного предела, то возможно образование карбидов только одного типа - MC.

Выделение карбидов происходит по границам зерен, что при определенных условиях ведет к охрупчиванию стали и к появлению особого вида коррозионного разрушения по границам зерен - очень опасного, названного межкристаллитной (интеркристаллитной) коррозией.

Лист из нержавеющей стали, пораженный интеркристаллитной коррозией, при простукивании не издает металлического звука, при небольшом усилии легко разрушается и может быть превращен в порошок.

Склонность к интеркристаллитной коррозии аустенитных нержавеющих сталей можно устранить не только уменьшением содержания

углерода, но и введением так называемых элементов-стабилизаторов - титана или ниобия, являющихся сильными карбидообразователями. При введении в сталь титана или ниобия образуются соответственно карбиды типа MC. Эти карбиды (фазы внедрения) мало растворимы в аустените. Титан и ниобий, забирая на себя углерод, препятствуют тем самым образованию хромистых карбидов и проявлению интеркристаллитной коррозии. Разумеется, что титан и ниобий надо вводить в достаточных количествах (чтобы они могли связать весь углерод).

Впрочем, более надежно устраняет процессы, приводящие к развитию интеркристаллитной коррозии, снижение углерода, тогда как так называемые элементы-стабилизаторы (т.е. Ti и Nb) лишь уменьшают ее.

Чисто аустенитные стали склонны также еще к одному виду коррозионного разрушения, к так называемому коррозионному растрескиванию или к коррозии под напряжением. Это явление состоит в том, что на поверхности образца (изделия), находящегося под нагрузкой или имеющего внутренние остаточные напряжения (например, после наклепа) и погруженного в относительно слабую коррозионную среду, образуются тонкие трещины, проходящие главным образом по телу зерна.

Аустенитные нержавеющие стали применяют очень широко не только из-за их высоких антикоррозионных свойств, но и благодаря высоким технологическим и механическим свойствам. Эти стали хорошо прокатываются в горячем и холодном состояниях, в холодном состоянии выдерживают глубокую вытяжку и профилирование, допускают применение электросварки.

Термическая обработка нержавеющих сталей аустенитного класса сравнительно проста и заключается в закалке в воде от 1050-1100°C. Нагрев до этих температур вызывает растворение карбидов хрома ($M_{23}C_6$), а быстрое охлаждение фиксирует состояние пересыщенного твердого раствора. Меренное охлаждение недопустимо, так при этом, как и при отпуске, возможно выделение карбидов, приводящее к ухудшению пластичности и коррозионной стойкости.

В результате закалки твердость этих сталей не повышается, а снижается, поэтому для аустенитных нержавеющих сталей закалка является умягчающей термической операцией.

Механические свойства аустенитных нержавеющих сталей в закаленном (умягченном) состоянии характеризуются низким значением предела текучести, невысокой прочностью и очень высокой пластичностью.

Если термическая обработка в сталях аустенитного класса не изменяет существенно механические свойства и достаточно проста, то в стали переходного, аустенито-мартенситного класса прочность сильно зависит от режимов термической обработки, так как при этом существенно меняется структурное состояние. Режимы термической обработки сталей переходного класса отличаются большой сложностью.

Нержавеющие стали этого класса получили применение главным образом как высокопрочные. Наиболее упрочненное состояние получается при структуре аустенит + мартенсит отпуска.

Подобное структурное состояние получается

в результате следующей термической обработки: закалка на аустенит + обработка холодом + отпуск (старение). Обработка холодом приводит к превращению приблизительно 40% аустенита в мартенсит (точка M_n должна быть около 0°C); отпуск при 450-500° С повышает прочность за счет дисперсионного твердения, происходящего главным образом в α -фазе.

Меньшее применение по сравнению с только что рассмотренными двумя классами стали - аустенитным и аустенитно-мартенситным - имеют стали аустенитно-ферритного класса

(их еще иногда называют двухфазными). Причина в том, что эти стали отличаются нестабильностью свойств - небольшие колебания в составе (внутри марочного содержания элементов) приводят к существенному изменению количественного сокращения α - и γ -фаз и, следовательно, к различию в свойствах.

Кроме того, эти стали обладают склонностью к охрупчиванию (при 400-600°C). По прочности они превосходят чисто аустенитную сталь, но для многих назначений это не является преимуществом.

Из сказанного выше можно заключить, что в нержавеющей сталях может быть три основных вида коррозионного разрушения:

а) общая коррозия, заключающаяся в равномерном по всей поверхности распространении коррозии в глубь металла;

б) межкристаллитная коррозия;

в) коррозионное растрескивание.

Скорость этих трех видов коррозионных разрушений зависит от состава стали и структурного состояния. Главным фактором, определяющим стойкость против общей коррозии, является содержание хрома. Большинство нержавеющей аустенитных сталей содержит около 18% Cr и обладает приблизительно одинаковой стойкостью; им уступают стали с 14% Cr, но их превосходят двухфазные стали, содержащие 21% Cr.

Межкристаллитная коррозия зависит от содержания углерода, а также от наличия элементов-стабилизаторов. Весьма стойки к межкристаллитной коррозии стали с пониженным содержанием углерода ($< 0,04\%$ C) и стали с Ti и Nb. В этих сталях межкристаллитная коррозия может быть вызвана отпуском при 600-700°C с выдержкой большей чем 1 ч. В сталях, не содержащих этих элементов или содержащих $> 0,04\%$ C после отпуска менее 1 ч при $\sim 600^\circ\text{C}$ появляется склонность к межкристаллитной коррозии.

Как говорилось выше, процесс межкристаллитной коррозии состоит в выделении карбидной сетки по границам зерен, поэтому даже если металл не работает в среде высокой агрессивности, то все равно выделение карбидов по границам зерен вредно отражается на пластичности металла.

Коррозионное растрескивание ускоряется при недостаточной стабильности аустенита в отношении $\gamma \leftrightarrow \alpha$ -превращения. Поэтому увеличение устойчивости аустенита в отношении мартенситного превращения достигается введением или увеличением содержания аустенитообразующих элементов (Ni, Mn, N, C) и ведет к повышению сопротивления коррозионному растрескиванию, именованию перечисленных

сплавов выбирают марку нержавеющей стали того или иного изделия.

16.7 Кислотостойкие стали и сплавы.

Для производства синтетических неметаллических материалов (пластмассы, стеклопластики, стекловолокно и т.д.), удобрений, а также других химических продуктов аппараты, установки и машины работают в агрессивных кислотных средах, чаще в серной, соляной, азотной, азотной или фосфорных кислотах и их смесях разной концентрации и при

разных температурах.

Рассмотренные в предыдущем параграфе нержавеющие стали оказываются недостаточно стойкими в перечисленных средах и других средах высокой агрессивности.

Для эксплуатации в этих средах следует применять другие, так называемые кислотостойкие стали и сплавы.

Увеличение стойкости в кислотах (общая коррозия) дает присадка в аустенитные стали молибдена и особенно молибдена с медью при одновременном увеличении содержания никеля (стали типа Сг - Ш - Мо и Сг - Ш - Мо - Си).

При необходимости иметь и высокую кислотостойкость (на уровне стали ЭИ943). и высокие механические свойства ($\sigma_b > 1000 \text{ МПа}$) рекомендуется к применению сплав Сг - Ш - Мо - Си - Ti - Al. Последние два элемента вызывают интерметаллидное упрочнение (выделение дисперсных фаз типа $\text{Ni}_3(\text{Ti, Al})$).

16.8 Износостойкие стали.

Износ деталей машин и аппаратов может быть вызван трением металлических деталей друг о друга и воздействием рабочей среды - потоком жидкости или газа, царапанием твердых частиц о поверхность деталей и т.д.

Механизм износа различен и зависит от условий износа, но в основном он состоит в том, что с поверхности металла вырываются мелкие частицы. В случае обычного трения поверхность металла наклепывается и сопротивляемость истиранию возрастает. Следовательно, в данном случае способность металла к наклепу в существенной степени определяет его износостойкость. В случае абразивного износа, когда твердые частицы абразива (например, песка) вырывают мельчайшие кусочки металла, стойкость против износа будет определяться сопротивлением металла отрыву и твердостью. При наличии агрессивных сред сопротивление износу зависит и от коррозионной стойкости материала. Поэтому износостойкость сплава (стали) определяется его физико-химическими свойствами и условиями износа, причем в зависимости от условия износа оптимальная структура и свойства металла могут быть различными.

Стойкость против абразивного износа прямолинейно возрастает с увеличением твердости изнашиваемого материала, поэтому радиальным повышением износостойкости является закалка или другие методы повышения поверхностной твердости (цементация, азотирование и т.д.). При одинаковой поверхностной твердости стали со структурой мартенсит + карбиды (например, сталь Р18, Х12) обладают большей износостойкостью, чем стали с такой же твердостью, но не имеющие избыточных карбидов (например, сталь 40 или У8).

При одинаковой твердости сталь, имеющая крупнокристаллическую структуру, имеет

меньшую износостойкость, чем сталь с мелкокристаллической структурой, так у первой сопротивление отрыву меньше.

Однако включения графита, ухудшающие механические свойства стали, повышают износостойкость при трении, так как в процессе изнашивания графитные включения выходят на поверхность трения, расчленяются по плоскостям спайности, образуя тончайшие пластинки, заполняют неровности трущихся поверхностей и тем самым предотвращают сухое трение

металл о металл и схватывание. Другими словами, графитные включения выполняют роль смазки.

Для повышения износостойкости применяют также пористые металлокерамические материалы, которые пропитывают маслом.

16.9 Сплавы высокого электросопротивления

Для проводников электрического тока требуется материал с минимальным электрическим сопротивлением. Так как образование твердых растворов при легировании сопровождается повышением электросопротивления, то в качестве проводниковых материалов применяют чистые металлы: медь, алюминий, реже - серебро, железо.

Для элементов электросопротивления требуется, наоборот, низкая электропроводность, поэтому в данном случае применяют не чистые металлы, а сплавы. Применяют эти сплавы для изготовления реостатов (так называемые реостатные сплавы) и для нагревательных элементов различных электрических приборов и электрических печей (сплавы высокого электросопротивления).

К сплавам высокого электросопротивления предъявляются следующие требования:

1. Сплав должен обладать большим удельным электросопротивлением.

2. Сплав должен обладать возможно малым температурным коэффициентом электросопротивления (т.е. чтобы электросопротивление мало изменялось при изменении температуры). Электросопротивление у металлов, например у железа, растет с повышением температуры. Очевидно, точное регулирование силы тока реостатом возможно лишь, если электросопротивление сплава мало меняется с изменением температуры (как у сплава нихром).

3. Сплав должен обладать высокой окалинотойкостью. Для реостатного сплава, проволока из которого не нагревается выше $300-500^{\circ}\text{C}$, это свойство не имеет существенного значения. Для нагревательных элементов печей и приборов, рабочая температура которых значительно выше, окалинотойкость сплава определяет срок службы нагревательного элемента.

Для реостатных сплавов применяют медные сплавы - никелин, константан, манганин, являющиеся сплавами меди с никелем, цинком и

марганцем.

В качестве реостатных наиболее целесообразно применять медноникелевые сплавы. Медь и никель неограниченно растворимы в твердом состоянии. Медноникелевые сплавы с 40-50% «Ni» обладают максимальным среди этих сплавов электросопротивлением при почти нулевом значении температурного коэффициента электросопротивления (т.е. электросопротивление у этих сплавов практически не изменяется с температурой). Действительно, наиболее распространенные реостатные сплавы - константан и никелин - являются сплавами меди и никеля при содержании никеля в первом 40%, во втором 45%, когда электросопротивление принимает максимальное значение, а температурный коэффициент минимальное.

В качестве сплавов высокого электросопротивления применяют сплавы на никелевой и железной основах. Первые на-

зываются нихромами.

Сплавы, содержащие невысокий процент хрома и алюминия и обладающие жаростойкостью до 1100° С изготавливаются в виде проволоки, сплавы с высоким содержанием хрома и алюминия (магпир, сплав № 2, сплав № 3) с жаростойкостью до 1250-1350°С непластичны, из них изготавливаются литые элементы сопротивления.

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ

Одним из важнейших звеньев СОК является контроль качества продукции - проверка соответствия показателей качества продукции установленным требованиям.

Выпускаемая предприятием продукция проходит технический контроль - проверку соответствия продукции или процесса, от которого зависит качество продукции, установленным техническим требованиям.

Существует несколько видов технического контроля:

- контроль технологического процесса - контроль режимов, характеристик, параметров технологического процесса;

- производственный контроль - контроль производственного процесса и его результатов на стадии изготовления продукции;

- операционный контроль - контроль продукции или процесса во время выполнения или после завершения определенной операции.

Готовая продукция проходит приемочный контроль - контроль готовой продукции, по результатам которого принимаются решения о ее пригодности к поставке и (или) использованию.

Может быть сплошной контроль - контроль каждой единицы продукции и выборочный контроль - контроль выборок или проб из партии или потока продукции.

На нашем заводе (как и на большинстве других) проводится выборочный контроль продукции. На основании методов прикладной статистики определяется количество контролируемых изделий, количество проб и образцов. Все эти данные, а также методы и виды испытаний имеются в ГОСТах, ТУ, техпроколах.

Металлические изделия не всегда имеют однородную структуру. Чтобы получить правильное представление о структуре контролируемого изделия, необходимо правильно выбрать место отбора пробы и вырезки из нее образцов.

Проба - часть металлопродукции, отобранная для изготовления из нее заготовок, образцов.

Затем из нее вырезают заготовку или темплет.

Заготовка - это часть пробы, обработанная или необработанная механически, которая подвергается в случае

17.1 Отбор проб для металлографического и других исследований

необходимости термообработке и предназначена для изготовления образцов.

Образец - это часть заготовки определенного размера, обработанная или необработанная механически и подготовленная для испытаний.

Для исследования проката и поковок с неоднородной структурой по сечению используют только поперечный шлиф; его плоскость перпендикулярна продольной оси изделий (направлению деформации). Если предполагается неоднородность структуры по высоте или рине изделия, то вырезают несколько проб из различных наиболее характерных зон.

Для контроля различных свойств металлопродукции места вырезки и количество проб указываются в соответствующих стандартах и ТУ.

Пробы отбираются в горячем состоянии (при прокатке или ковке), затем их охлаждают (иногда замеренно по специальному режиму), а затем разрезают их на части в холодном состоянии. Часть проб отбирается в холодном состоянии (пилой, абразивным кругом).

При отборе проб, изготовлении заготовок и образцов должны быть предусмотрены все меры, предохраняющие образцы от нагрева и наклепа, т.к. они могут привести к искажению структуры и изменению свойств.

Пробы в цех испытаний поступают централизованно. Приемка проб в ЦИ производится в соответствии с накладными, которые выписывает цех-изготовитель продукции и заверяет ОТК.

Поступившие в ЦИ пробы принимает начальник смены, а затем распределитель работы задает их в производство.

Вначале производится резка проб и вырезка из них по установленным схемам заготовок образцов.

17.2 Методы выявления микроструктуры

Микроструктура металлов и сплавов характеризуется величиной зерна и расположением его, формой, размером и количеством различных фаз. Микроструктуру изучают под микроскопом, (для определения структуры применяют химическое или электролитическое травление). В результате на шлифе под микроскопом можно увидеть очертания зерен и различных фаз, определить их взаимное расположение, т.е. выявить микроструктуру сплава.

17.3 Виды механических испытаний

Конструктор при создании деталей и узлов машин выбирает материалы в зависимости от их свойств. Основными механическими свойствами металла являются прочность, упругость, пластичность, твердость и вязкость (работа удара).

Мехсвойства металлов определяют испытанием

специальных образцов.

В зависимости от характера действия нагрузки испытания могут быть статическими, динамическими и циклическими. При статических испытаниях нагружение производится плавно. При динамических испытаниях нагрузка прикладывается мгновенно (резко). При циклических испытаниях изменяются направления действия нагрузки или ее величина, или оба фактора вместе.

К статистическим испытаниям относят испытания на растя-

жение, сжатие, твердость; к динамическим - испытания на удар; к циклическим - испытания на усталость.

В зависимости от температуры различают испытания при пониженной (ниже 0°C), обычной (20°C) и повышенной (выше 20°C) температурах. Температуру испытания выбирают в зависимости от температуры, при которой будет работать изделие.

17.4 Неметаллические включения в стали.

Неметаллические включения - макро- и микрочастицы в

стали, образующиеся в результате различных физико-химических процессов, которые происходят при выплавке металла и его кристаллизации. «

Неметаллические включения могут быть природными и по-сторонними. Природные включения возникают в результате различных химических реакций, посторонние включения (частицы огнеупоров и др.) образуются при соприкосновении металла с веществами в ходе производства. Эти включения вносятся обычно механическим путем.

Неметаллические включения оказывают в большинстве случаев вредное влияние на свойства металла: уменьшают прочность и пластичность, охрупчивают, понижают сопротивление коррозии, ухудшают технологические свойства. Поэтому содержание неметаллических включений контролируют и регламентируют.

17.5 Зерно в стали

Любое металлическое изделие имеет поликристаллическое строение, т.е. состоит из большого количества зерен. Величина зерна металла зависит от его состава, условий выплавки, кристаллизации, обработки давлением и термообработки. Хорошо известно, что от величины зерна зависят многие свойства металла. Например, металлы, имеющие крупное зерно, обладают пониженной прочностью, пластичностью и вязкостью. Поэтому в требованиях к металлу часто оговаривается величина зерна.

В стали различают фактическое и наследственное зерно. Зерно, с которым металл поступает в эксплуатацию, называют фактическим. Зерно, которое образуется в стали после термообработки по особому режиму, характеризует склонность стали к росту зерна при нагреве в процессе термообработки и называется наследственным.

Зерно выявляют электролитическим или химическим травлением шлифов в различных реактивах. Выявление фактического зерна проводят на образцах, отобранных из изделий в состоянии поставки.

17.6 Определение стойкости к межкристаллитной коррозии

Коррозия металлов - это разрушение металлов вследствие

химического или электрохимического взаимодействия их с окружающей средой. Из-за коррозии ежегодно теряется до 2,5% всего эксплуатируемого металла.

Различают два вида коррозии: химическую и электрохимическую.

При химической коррозии процесс происходит без возникновения электротока (обычно в среде газов: кислород, углекислый газ, сернистый газ или в среде жидкостей: масло,

смолы, которые не проводят ток).

Электрохимическая коррозия происходит в среде электролитов - жидкостей, проводящих электроток (вода, соли, кислоты).

Одним из самых опасных видов коррозии является межкристаллитная - т.е. распространяющаяся по границам кристаллов (зерен металла). Межкристаллитная коррозия охрупчивает металл, понижает его механические свойства.

Металлографический анализ для межкристаллитной коррозии проводят на образцах - пластинках 15x20x5 мм, прошедших соответствующие коррозионные испытания (в смеси соляной, серной и азотной кислот).

17.7 Анализ макроструктуры металлов

Макроструктура - это структура, строение металла, видимое

невооруженным глазом или при небольшом увеличении (до 30 крат) с помощью лупы.

Изучение макроструктуры проводят следующими способами:

- просмотр специально приготовленных макрошлифов;
- изучение излома образца.

При контроле металла оценку макроструктуры темплетов проводят визуально, сравнивая с эталонами шкал макроструктуры (ГОСТ 10243-75). В этом стандарте имеется 10 шкал, иллюстрирующих различные виды дефектов. Оценивают по шкалам такие показатели: центральная пористость, ликвация (неоднородность металла по химическому составу, структуре и неметаллическим включениям) послойная кристаллизация, т.е. слои металла в виде концентрических светлых или темных полос, светлая полоска (контур) - разновидность послойной кристаллизации.

Макроструктуру по излому контролируют на образцах с продольным и поперечным направлением волокна.

17.8 Дефекты легированной стали

Наиболее характерные дефекты приведены ниже.

Усадочная раковина - ее образование вызвано уменьшением объема жидкой стали при ее затвердевании.

Конструкция надставок к изложницам и технология разлива стали должны обеспечивать локализацию усадочной раковины в верхней, прибыльной, части слитка. Нижняя граница усадочной раковины должна быть выше линии разреза изложницы и надставки. Неполностью удаленная усадочная раковина (или входящая в тело слитка) при деформации превращается в сильно вытянутую полость или щель. Обычно (в зависимости от типа слитка и марки стали) обрезь прибыльной части слитка (головная обрезь) составляет 14(20% от веса слитка (на так

называемых кузнечных слитках до 25%).

Пузыри в стали. Газы (H , N_2 , O_2) попадают в металл главным образом из шихтовых материалов, ферросплавов и печной атмосферы.

Газовые пузыри обнаруживаются при обычном контроле макроструктуры металла (сортового). В поперечном сечении катаного металла встречаются пузыри размером от 0,5 мм до 5,0 мм и более. Пузыри при деформации вытягиваются, приобретают форму сплюснутой трубочки и, как правило, не завариваются даже при очень больших обжатиях.

К образованию пузырей приводят: использование при разливке металла плохо просушенного ковша, центровых, сифонной проводки, случайное попадание влаги в металл, сильный перегрев металла в печи.

Точечная неоднородность. Является результатом неоднородного строения металла в слитке.

Общая, а чаще краевая неоднородность макроструктуры встречается при производстве нержавеющей стали типа X18H10T. При введении титана в стали образуется большое количество нитридов и окислов, которые при разливке густого металла или металла с пониженной температурой полностью не всплывают и образуют макроструктурную неоднородность.

Волосовины - это дефекты, обнаруживаемые на заготовках или готовых деталях в виде тонких, различной ширины черточек - нарушения сплошности металла. Волосовины всегда располагаются параллельно волокну, но не всегда параллельно поверхности готовой сложной детали.

Волосовины делятся на две группы:

1) волосовины, обнаруживаемые на поверхности катаных заготовок или поковок;

2) волосовины, встречающиеся во внутренних слоях металла, на поверхности деталей или ступенчатых образцов.

Флокены. Представляют собой тонкие трещины, поражающие обычно центральную часть заготовок и поковок. Они понижают механические свойства металла и служат причиной образования очагов разрушения. Основной причиной образования флокенов считается водород, растворимость которого в жидкой стали значительно больше, чем в твердой (0,0025% в чистом железе при 1550°C и 0,002 (0,005% в твердой стали). Водород выделяется из металла на всех стадиях тепловой обработки: при охлаждении и нагреве слитков, при нагреве и охлаждении проката и поковок.

Отставание процесса выделения водорода от понижения его растворимости с понижением температуры приводит к образованию избытка его над предельной растворимостью и к появлению флокенов.

Заклучение

69008, г. Запорожье, Южное шоссе, 730-

ГСП

факс (0612) 13-17-80

e-mail: dss@com.ua

V> заключение хотелось бы сказать, что настоящий конспект позволяет определить технологические возможности оборудования завода, раскрывает взаимоотношения между подразделениями и службами завода, раскрывает в общих чертах контроль технологического процесса и его задачи.

Кроме того, в конспекте изложены краткие основы металловедения и термической обработки металлов, что дает слушателям общее представление о свойствах металла, его строении и способах улучшения технических характеристик металлопродукции.

Список используемой литературы

1. Международные стандарты системы обеспечения качества
2. Гуляев А.П. Металловедение. - Москва: Металлургия, 1966. - 480 с.
3. Сталь качественная и высококачественная. Сборник стандартов. - Часть 1. - М., 1990. - 407 с.
4. Богомолова Н.А. Практическая металлография. - М., 1982. - 272 с.
5. Калинина З.М. Дефекты легированной стали. - Свердловск, 1960. - 248 с.
6. Технология металлов и материаловедение. Под редакцией Усовой Л.Ф. Москва: Металлургия, 1987. - 800 с.